Подшипники качения

Справочное пособие

МАШГИЗ

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

Под редакцией

Д-РА ТЕХН. НАУК *Н.А.Спицына*
И КАНД. ТЕХН. НАУК
А.И.Спришевского

“Библиотека Машиностроителя”
www.lib-bkm.ru

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА • 1961

В первой части справочного пособия приведены основы теории расчета, а также номенклатура и конструкции подшипников качения, методика их выбора, рекомендации по конструированию подшипниковых узлов.

Во второй части книги даны справочные сведения по материалам, заготовкам, расчету припусков, механической и термической обработке деталей, сборке подшипников, защите деталей и собранных подшипников от коррозии, контролю. В этой части содержатся также данные об автоматическом цехе 1ГПЗ.

Справочное пособие предназначено для инженеров и техников подшипниковых заводов, конструкторских бюро и специалистов, связанных с проектированием, расчетом, производством, монтажом и демонтажом подшипниковых узлов.

АВТОРЫ

С. П. БАЙКОВ, канд. техн. наук, И. С. БЕЛЕНЬКО, канд. техн. наук, С. Ф. БЕЛЬКОВ, инж., М. П. БЕЛЯНЧИКОВ, инж., И. Л БЕРНШТЕЙН, инж., Д. Д. БОГОРОДИЦКИЙ, инж., Е. В. БОЛОНОВА, канд. техн. наук, И. М. БРОЗГОЛЬ, канд. техн. наук, В. Б. ВЛАДИМИРОВ, инж., П. Д. ВОЛКОВ, канд. техн. наук, Н. Н. ГЕРАСИМОВА, инж., А. Ф. ЖУХОВИЦКИЙ, инж., М. Ф. КАБАНОВ, инж., В. М. КАНЕВЦОВ, канд. техн. наук, И. В. КОЛОТЕНЬКОВ, инж., И. М. КОНДРАТЬЕВ, инж., И. П. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, Д. С. ЛЬВОВ, канд. техн. наук, И. Я. ЛЫСЕНКО, канд. техн. наук, Л. М. МАКАРОВ, инж., Н. Д. ОЛЕЙНИК, инж., Е. Г. РАБИНЕР, инж., Ю. Л. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, канд. техн. наук, И. М. САХОНЬКО, канд. техн. наук, П. Н. СИДОРОВ, инж., Н. А. СПИЦЫН, проф. д-р техн. наук, А. И. СПРИШЕВСКИЙ, канд. техн. наук, В. Т. ЧИРИКОВ, канд. техн. наук, А. С. ШЕЙН, канд. техн. наук.

Научный редактор первой части И. Я. НИБЕРГ

Редактор издательства инж. Н. Ю. Благосклонова

Редакция справочной литературы

Зав. редакцией инж. Г. А. МОЛЮКОВ

Адрес издательства: *Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., д. 3*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Стр.

Глава I. Номенклатура и конструктивные характеристики подшипников качения *(П. Н. Сидоров)* 1

Классификация подшипников качения 1
Характеристики основных типов подшипников качения 1
Система условных обозначений подшипников качения 21
Нормальные размеры подшипников качения и их деталей 25

Глава II. Основные характеристики стандартных подшипников качения *(П. Н. Сидоров)* 40

Размеры и основные характеристики стандартных подшипников качения 41
Веса шарико- и роликоподшипников 98
Свободные детали 110

Глава III. Выбор подшипников качения *(Н. А. Спицын)* 112

Выбор подшипников по статической грузоподъемности 112
Выбор подшипников, работающих в условиях качания на малый угол 116
Выбор радиальных, радиально-упорных и упорных подшипников по работоспособности и сроку службы 117
Выбор подшипников, работающих при переменной нагрузке и переменном числе оборотов 123
Выбор подшипников качения с предварительным натягом 126
Выбор подшипников качения за пределами каталожных скоростей 128
Быстроходность шарикоподшипников различных конструкций с сепараторами из различных материалов 131

Глава IV. Посадки подшипников качения *(И. М. Кондратьев)* 133

Основные положения 133
Указания по выбору посадок 140
Посадки радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников 141
Посадки игольчатых подшипников со штампованным кольцом 142
Посадки подшипников при осевой нагрузке 142
Выбор посадок для циркуляционно-нагруженных колец подшипников классов точности Н, П и В 142
Посадки четырехрядных конических роликоподшипников, подвергаемых частому демонтажу 144
Посадки упорных подшипников 145
Примеры выбора посадок при циркуляционном нагружении 146
Чистота и отклонения от геометрической формы посадочных поверхностей 147
Определение наибольшего удельного давления (p *кГ/см*^{2}) на сопрягаемых поверхностях 148
Определение величины натяга посадки 148
Определение деформации колец, вала и корпуса 149
Допускаемые напряжения в деталях, образующих соединение, *кГ/см*^{2} 150
Определение усилий напрессовки и снятия колец подшипников 150
Внутренние зазоры в подшипниках качения 151
Основные положения 151
Зависимости между осевой игрой и начальным радиальным зазором в подшипниках нерегулируемого типа 151
Зависимость углового смещения кольца от величины посадочного радиального зазора в однорядных шарикоподшипниках 152
Начальные и посадочные зазоры 153

Глава V. Смазка подшипников качения *(Н. А. Спицын)* 160

Смазочные материалы 160
Выбор смазки 164
Оценка работоспособности смазок по параметрам $d_{ср}$, n и σ_{max} 166
Способы смазки высокоскоростных подшипников 168

Глава VI. Уплотнения для подшипниковых узлов *(Н. А. Спицын)* 175

Типы уплотнений и их применение 175
Расчет лабиринтных уплотнений 179
Типовые конструкции уплотнений для подшипниковых узлов 181

Глава VII. Конструирование подшипниковых узлов *(И. М. Кондратьев)* 186

Значение класса точности для работы подшипников в станках и приборах . . . 186
Рекомендации по применению подшипников 188
Радиальные однорядные шарикоподшипники 188
Радиальные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами . 189
Радиальные сферические шарико- и роликоподшипники 191
Игольчатые роликоподшипники 194
Роликоподшипники с витыми роликами 194
Радиально-упорные шарикоподшипники 195
Конические однорядные роликоподшипники 196
Четырехрядные конические роликоподшипники 200
Упорные шарикоподшипники 201
Установка подшипников с предварительным натягом 204
Схемы установки в узле подшипников нерегулируемого типа 206
Установочные размеры в корпусах и на валах для подшипников качения . . . 207
Осевые крепления подшипников качения на валах и в корпусах 212
Элементы подшипниковых узлов 222
Общие сведения 225
Конструирование и изготовление деталей прессовых соединений, подлежащих распрессовке маслом под давлением до 2000 *атм* 226
Способ сборки и разборки прессовых соединений с помощью масла под давлением 228

Глава VIII. Монтаж и демонтаж подшипниковых узлов *(Е. Г. Рабинер)* 231

Основные правила обращения с подшипниками 231
Проверка подшипников перед монтажом 231
Подготовка к монтажу сопрягаемых с подшипниками деталей 232
Монтаж подшипников 241
Шарико- и роликоподшипники с цилиндрическим отверстием 241
Регулировка осевой игры радиально-упорных и упорных шарико- и роликоподшипников 244
Шарико- и роликоподшипники с коническим отверстием 250
Игольчатые подшипники 253
Двухрядные радиальные роликоподшипники с коническим отверстием (типа 3182100) 254
Монтаж в одной опоре двух радиальных роликоподшипников 256
Роликоподшипники с витыми роликами и удлиненным внутренним кольцом 256
Проверка подшипников после установки 257
Монтаж и регулировка четырехрядных конических роликоподшипников . . 257
Сдваивание радиально-упорных шарико- и роликоподшипников с предварительным натягом 261
Монтаж подшипниковых узлов 265
Пробный пуск 267
Демонтаж подшипников 267
Демонтаж подшипников с цилиндрическим отверстием 268
Демонтаж шарико- и роликоподшипников с коническим отверстием 270
Рабочее место монтажника 270
Промывка подшипников 271
Хранение и консервация подшипников 271

Глава IX. Теория расчета подшипников качения *(М. П. Белянчиков)* 273

Кинематика подшипников качения 273
Напряжения и деформации в местах контакта 274
Расчетные формулы для определения напряжений 274
Распределение внешней нагрузки между телами качения и определение наибольшей нагрузки на тело качения 288
Радиальный шарикоподшипник 288
Роликоподшипник с цилиндрическими роликами 289
Упорный подшипник 289
Расчет радиально-упорных шарикоподшипников 289
Максимальное контактное напряжение смятия 290
Эквивалентное напряжение на желобе внутреннего кольца 291
Приведенная нагрузка при вращающемся подшипнике 291
Приведенная статическая нагрузка на подшипники 292

Глава X. Гироскопические эффекты в упорных и радиально-упорных шарикоподшипниках *(Н. А. Спицын)* 293

Кинематика упорного шарикоподшипника 293
Гироскопический момент шариков в упорном подшипнике 294
Влияние гироскопических эффектов на состояние рабочих поверхностей деталей упорных шарикоподшипников 296
Действие центробежных сил и гироскопических моментов на шарики радиально-упорных подшипников 297

Глава XI. Проектирование подшипников качения *(П. Н. Сидоров)* 299

Основные положения 299
Шарикоподшипники радиальные однорядные 300
Шарикоподшипники радиально-упорные 302

Шарикоподшипники упорные одинарные 303
Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами 305
Игольчатые роликоподшипники с массивными кольцами 307
Основы конструирования конических и сферических роликоподшипников . . . 309
Конические роликоподшипники 309
Радиальные двухрядные сферические роликоподшипники 310

Глава XII. Испытания подшипников качения *(В. В. Владимиров)* 312

Виды контрольных измерений и испытаний подшипников 312
Цель и методика проведения стендовых испытаний 312
Обработка результатов стендовых испытаний 314
Конструкции испытательных стендов 314

Глава XIII. Потери на трение в подшипниках качения *(Д. Д. Богородицкий)* . . . 317

Природа трения в подшипниках качения 317
Определение моментов трения 318
Выбор коэффициентов трения 319
Влияние режимов работы и конструктивных особенностей подшипников на величину потерь на трение 320
Приборы для определения трения в подшипниках качения 322

Глава XIV. Износ подшипников качения *(А. И. Спришевский)* 326

Влияние механической обработки на физическое состояние поверхностного слоя деталей подшипников качения 326
Процессы, происходящие в поверхностных слоях деталей при работе подшипников 329
Виды износа деталей подшипников качения 330
Влияние радиальных и осевых зазоров в подшипниках качения на износ . . . 335

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Глава XV. Металлы, применяемые для деталей подшипников качения; их свойства и термическая обработка *(А. С. Шейн)* 337

Хромистые шарикоподшипниковые стали 337
Химический состав и общие требования 337
Структура и твердость отожженной стали 337
Структура закаленной стали 344
Механические свойства закаленной подшипниковой стали 346
Физические свойства шарикоподшипниковых сталей 356
Удельное электросопротивление 357
Изменение размеров при термической обработке 361
Нержавеющая подшипниковая сталь 373
Микроструктура стали Х18 373
Механические свойства стали Х18 373
Механические свойства закаленной стали 373
Физические свойства стали Х18 375
Стабилизация размеров 375
Технология термической обработки деталей подшипников, изготовляемых из шарикоподшипниковых хромистых сталей 377
Термическая обработка колец 377
Термическая обработка роликов 379
Термическая обработка шариков 380
Цементуемые подшипниковые стали *(В. Т. Чураков)* 383
Химический состав и механические свойства 383
Технология цементации и последующей термообработки деталей подшипников 389
Методы определения статической прочности и контактной выносливости закаленных подшипниковых сталей *(И. М. Сахонько* и *И. В. Колотенков)* . . . 401
Испытание на сжатие 401
Сжатие закаленных шариков 401
Сжатие образцов с выточкой 403
Испытание на кручение образцов с выточкой 405
Испытание на растяжение и изгиб образцов с выточкой 406
Испытание на контактную выносливость 408
Статическая прочность и контактная выносливость закаленной подшипниковой стали в зависимости от температуры отпуска 411

Глава XVI. Технология производства заготовок колец подшипников *(И. Л. Бернштейн, Ю. Л. Рождественский)* 413

Металл для производства колец подшипников 413
Определение размеров заготовок 422
Технические условия на приемку кольцевых заготовок 431
Коэффициент использования и нормирование расхода металла при производстве колец подшипников 434
Основные методы получения заготовок колец подшипников 452
Горячая штамповка кольцевых заготовок на горизонтально-ковочных машинах 452

Свободная ковка заготовок колец подшипников 463
Горячая штамповка заготовок колец подшипников на молотах 470
Горячая раскатка заготовок колец подшипников 474
Полугорячая калибровка кольцевых заготовок 490
Холодная штамповка заготовок колец конических роликоподшипников . . 492
Расчет норм выработки на штамповку и раскатку заготовок 499

Глава XVII. Токарная обработка колец подшипников *(И. С. Беленко, В. М. Каневцов)* 504

Точность токарной обработки колец и припуски на шлифование 504
Маршрутная технология токарной обработки колец 508
Оборудование для токарной обработки колец 509
Базирование при токарной обработке колец 513
Типовые планы наладок станков при токарной обработке колец 513
Основные типовые наладки при токарной обработке колец 514
Проектирование плана наладки станков-автоматов 518
Режущие инструменты 520
Инструментальные материалы 522
Заточка резцов 523
Прогрессивные конструкции инструментов 524
Технологическая оснастка станков при токарной обработке колец 525
Зажимные патроны 525
Вспомогательный инструмент 527
Методы размерной наладки станков 529
Обрабатываемость резанием подшипниковых сталей 532
Смазочно-охлаждающие жидкости 537
Нормирование при токарной обработке 537
Автоматизация производства при токарной обработке колец подшипников . . . 540
Автооператоры 540
Блокирующие устройства 543
Уборка стружки 543

Глава XVIII. Процесс шлифования и факторы, определяющие его производительность *(И. П. Кузнецов)* 546

Влияние скорости круга на производительность процесса шлифования 547
Влияние скорости поперечного суппорта на процесс шлифования 549
Влияние скорости детали на процесс шлифования 554
Влияние скорости продольной подачи на процесс шлифования 555
Влияние припуска на производительность и точность шлифования 555
Шлифовальные круги 555
Смазочно-охлаждающие жидкости при шлифовании 559
Технологические базы и взаимосвязи поверхностей деталей подшипников . . . 559
Процессы шлифования и доводки колец подшипников и факторы, определяющие производительность операции *(И. М. Брозголь)* 562
Припуски 565
Режимы шлифования колец подшипников нормального класса точности . . 565
Мембранные зажимные патроны 582
Межоперационные технические условия 583
Доводка главных рабочих поверхностей 587
Доводка желобов колец шарикоподшипников 588
Окончательная обработка дорожек качения колец роликоподшипников . . . 594

Глава XIX. Технология производства шариков *(С. П. Байков)* 596

Производство шариков из стали ШХ 596
Технические условия 596
Технологические маршруты 598
Основные технологические операции 599
Особенности изготовления шариков высоких степеней точности 621
Особенности восстановления шариков из демонтированных подшипников . . 622
Производство шариков из других металлов 623
Обработка шариков из твердых сплавов 624
Обработка шариков из пластических масс 625
Технологический процесс обработки шариков из тефлона 625
Технологический процесс обработки шариков из пластмассы 625

Глава XX. Технология производства роликов *(Е. В. Болонова)* 626

Изготовление конических роликов 626
Штамповка заготовки 626
Токарная обработка заготовки 629
Термическая обработка роликов 630
Изготовление цилиндрических роликов 639
Штамповка заготовки 641
Токарная обработка роликов 641
Шлифование роликов 641
Изготовление бочкообразных роликов 642
Токарная обработка роликов 643
Шлифование роликов 648
Изготовление точных роликов 649
Автоматизация транспортировки роликов 654

Глава XXI. Технология изготовления сепараторов подшипников качения *(Д. С. Львов, В. М. Каневцов, С. Ф. Белков)* 655

Технология изготовления штампованных сепараторов 655
Змейковые полусепараторы 655
Конические сепараторы 662
Пути экономии металла при производстве штампованных сепараторов подшипников качения 677
Нормирование расхода металла при изготовлении штампованных сепараторов из листового металла 678
Технология изготовления массивных сепараторов и их заготовок 680
Производство литых труб для массивных сепараторов 680
Механическая обработка массивных сепараторов 681

Глава XXII. Сборка подшипников *(Л. М. Макаров, Н. Д. Олейник)* 695

Комплектование деталей подшипников 699
Расчеты при комплектовании и подборке шарикоподшипников 699
Шарикоподшипники радиальные однорядные 699
Шарикоподшипники радиальные сферические самоустанавливающиеся . . . 699
Шарикоподшипники радиально-упорные 700
Шарикоподшипники упорные 701
Расчеты при комплектовании и подборке роликовых подшипников 702
Роликоподшипники конические 702
Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами . 704
Роликоподшипники радиальные сферические двухрядные самоустанавливающиеся 704
Способы комплектования деталей подшипников по диаметрам поверхностей качения 705
Подборка подшипников 710
Промывка скомплектованных деталей подшипников 710
Окончательная сортировка колец 712
Подборка подшипников по таблицам и номограммам 713
Методы организации подборки шариковых радиальных подшипников 715
Вставка последнего шарика 718
Подборка упорных шарикоподшипников 718
Подборка роликоподшипников 718
Сборка подшипников 720
Вставка заклепок 720
Распределение шариков, скрепление сепараторов в подшипниках, закладывание и крепление шайб 722
Окончательный контроль подшипников 724
Проверка радиального зазора 724
Проверка шумности подшипников 724
Проверка на легкость вращения 724
Окончательная промывка подшипников 725
Особенности сборки и контроля разных типов подшипников 725
Радиально-упорные шарикоподшипники 725
Конические роликоподшипники 726
Средства механизации и автоматизации отдельных операций 726
Игольчатые подшипники (веретенные, карданные) 728
Приборные подшипники 732
Консервация и упаковка подшипников 733
Консервация подшипников 733
Упаковка подшипников 735

Глава XXIII. Защита от коррозии подшипников и их деталей *(Н. М. Кибанов)* 737

Причины, вызывающие коррозию 737
Консервация 737
Антикоррозионная обработка 737
Упаковка 740
Транспортировка 745
Хранение 745
Приготовление раствора мыла 745
Приготовление раствора ТЭА 746
Анализ раствора мыла 746
Исправление мыльного раствора 746
Анализ раствора ТЭА 747
Исправление раствора ТЭА 748

Глава XXIV. Контроль деталей и собранных подшипников *(И. Я. Лысенко)* . . . 749

Контроль деталей подшипников 750
Контроль колец 751
Контроль диаметров наружных поверхностей колец 751
Контроль диаметров внутренних поверхностей колец 751
Контроль ширины колец 751
Контроль неперпендикулярности оси отверстий к торцу 751
Контроль угла конуса и неперпендикулярности оси конуса к торцу 752

Контроль шариков . . . 752
Контроль конических роликов . . . 753
Контроль цилиндрических и игольчатых роликов . . . 753
Контроль бочкообразных роликов . . . 754
Контроль сепараторов . . . 754
Контроль заклепок и распорок . . . 755
Автоматизация контроля . . . 755
Сортировка шариков по диаметру . . . 755
Автоматическая отбраковка шариков с дефектами поверхности . . . 756
Сортировка цилиндрических роликов по диаметру . . . 758
Сортировка цилиндрических роликов по длине . . . 760
Сортировка конических роликов по диаметру . . . 760
Автоматическая сортировка и контроль игольчатых роликов . . . 763
Автоматы для сортировки бочкообразных роликов по диаметру . . . 764
Автоматы 4ГПЗ для рассортировки колец радиальных шарикоподшипников по диаметрам желобов . . . 765
Автомат СК-9 для контроля биений радиальных шарикоподшипников . . . 766
Ручной контроль собранных подшипников . . . 767
Контроль биений колец подшипников . . . 767
Контроль монтажной высоты подшипников . . . 769
Контроль легкости вращения подшипников . . . 769
Контроль деталей крупногабаритных подшипников . . . 769
Методы и средства контроля шероховатости поверхностей деталей подшипников *(Н. Н. Герасимова)* . . . 770
Шум и вибрация подшипников качения *(П. Д. Волков)* . . . 779
Основные понятия прикладной виброакустики . . . 779
Виброакустическая аппаратура и стенды для контроля и исследования шума и вибрации подшипников качения . . . 782
Технические данные и назначение приборов для измерения и анализа воздушного шума и вибраций . . . 785
Факторы, влияющие на шум и вибрацию подшипников качения . . . 793
Методика измерения шума и вибрации подшипников качения в звукометрических лабораториях . . . 797

Глава XXV. Комплексная автоматизация в подшипниковой промышленности *(А. Ф. Жуховицкий)* . . . 802

Технология, принятая в автоматическом цехе 1ГПЗ . . . 803
Токарная обработка . . . 803
Термическая обработка . . . 804
Шлифовальные операции . . . 804
Контроль, сборка и упаковка . . . 805
Управление и вспомогательные службы . . . 806
Структурное построение автоматических линий . . . 806
Транспортные устройства и отдельные элементы автоматизации . . . 808
Токарный участок . . . 808
Автоматические бункеры . . . 808
Подъемники и транспортеры . . . 810
Автоматические магазины . . . 812
Лотки и замедлители . . . 813
Транспортер для стружки . . . 815
Система блокировки . . . 815
Загрузочно-выгрузочное устройство двухблочного восьмишпиндельного токарного автомата 02С01 . . . 817
Устройство для загрузки и выгрузки колец одношпиндельного доделочного токарного автомата 02С03 . . . 819
Устройство для съема колец шестишпиндельного токарного автомата 01С05 . . . 820
Устройство для загрузки и выгрузки колец из пресса для клеймения . . . 821
Термическое отделение . . . 821
Шлифовальное отделение . . . 825
Загрузочно-выгрузочное устройство бортикошлифовального автомата 02С34 . . . 825
Загрузочно-выгрузочное устройство бесцентрового желобошлифовального автомата 01С25 . . . 826
Сборочное отделение . . . 826

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Глава I

НОМЕНКЛАТУРА И КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

1. По направлению действия воспринимаемой нагрузки относительно оси вала подшипники разделяются на следующие группы:

а) радиальные подшипники, т. е. такие, которые воспринимают преимущественно радиальную нагрузку (некоторые конструктивные разновидности этих подшипников могут воспринимать и осевые нагрузки);

б) радиально-упорные подшипники, воспринимающие комбинированные нагрузки, т. е радиальные и осевые одновременно;

в) упорно-радиальные подшипники, предназначенные для восприятия осевой нагрузки, могут воспринимать одновременно и незначительную радиальную нагрузку;

г) упорные подшипники, которые могут воспринимать только осевую нагрузку;

Радиальной нагрузкой называется нагрузка, действующая перпендикулярно оси вала.

Осевой нагрузкой называется нагрузка, действующая вдоль оси вала.

2. По форме тел качения подшипники разделяются на шариковые с телами качения в форме шариков и роликовые с телами качения в форме роликов. Последние могут быть с цилиндрическими (короткими, длинными или игольчатыми), коническими, бочкообразными (симметричными и асимметричными) и витыми.

3. По числу рядов тел качения подшипники разделяются на однорядные, двухрядные, четырехрядные и многорядные.

4. По основному конструктивному и эксплуатационному признаку подшипники разделяются на несамоустанавливающиеся и самоустанавливающиеся (сферические).

Примерная классификация подшипников качения приведена на схеме, развернутая классификация типов — в табл. 1, а сравнительные грузоподъемность и быстроходность — в табл. 2.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Шарикоподшипники радиальные однорядные (тип 00000) воспринимают радиальные и осевые нагрузки, обладают большой быстроходностью при соответствующей конструкции и материале сепараторов, могут работать при осевых нагрузках и высоких числах оборотов в минуту, когда упорные подшипники неработоспособны.

При использовании интенсивной струйной смазки и особой конструкции сепаратора для этих подшипников достижимо значение

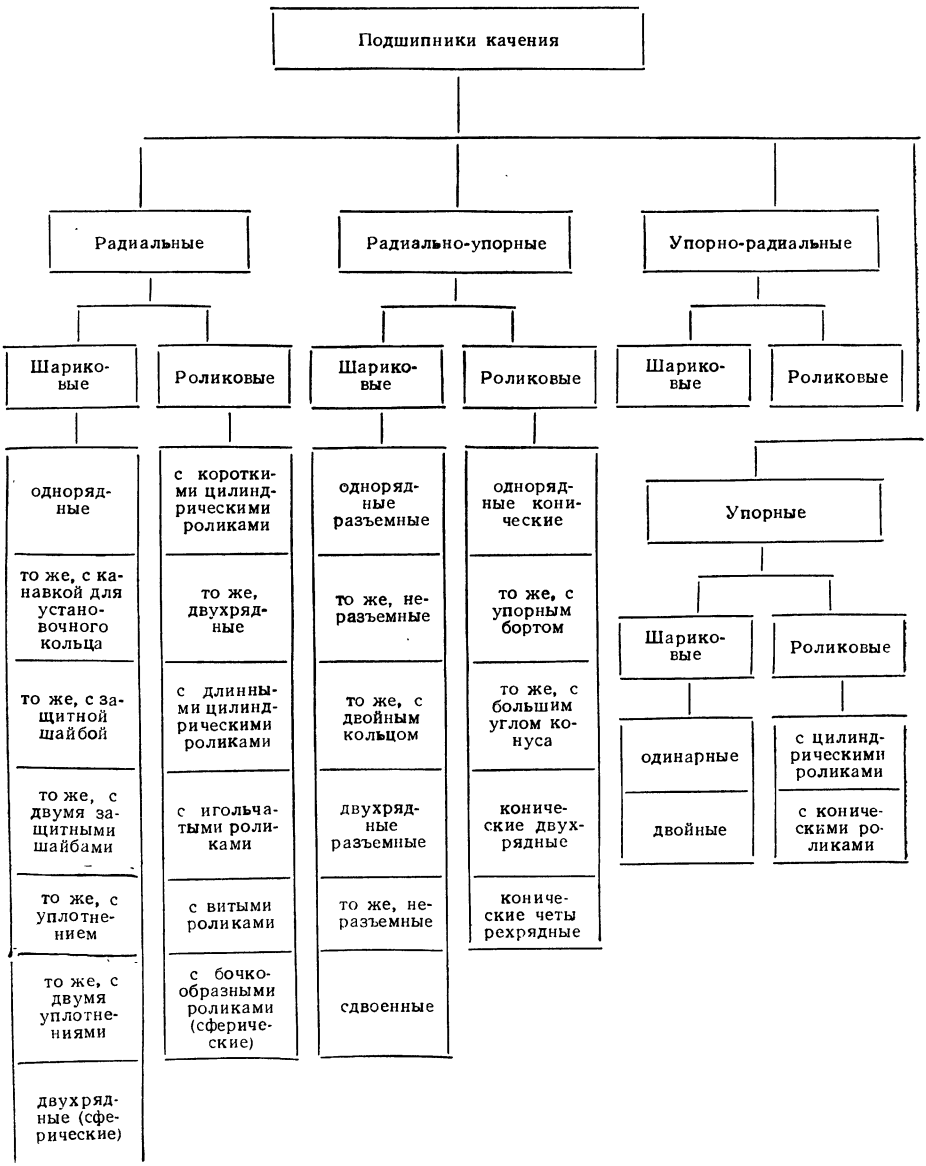
$$d_{cp}n = 2\,000\,000 \quad \text{и выше.}$$

Здесь n — число оборотов в минуту; d_{cp} — средний диаметр подшипника в *мм*;

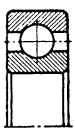
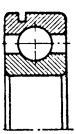
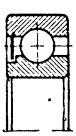
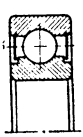
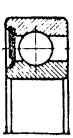
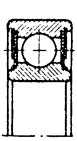
$$d_{cp} = \frac{D + d}{2},$$

где D и d — соответственно наружный и внутренний диаметры подшипника в *мм*;

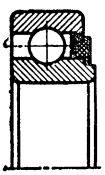
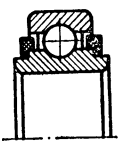
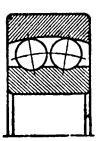
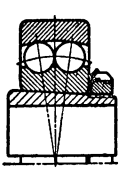
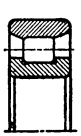
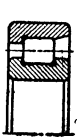
Схема классификации отечественных подшипников качения



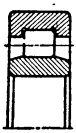
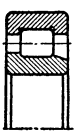
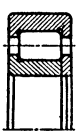
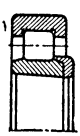
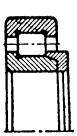
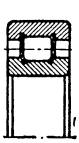
1. Основные типы подшипников качения (по ГОСТ 3395-57)

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	I. Радиальные подшипники				
	а) Шарикоподшипники				
	Радиальные однорядные	00000	ГОСТ 8338-57	Радиальная. Осевая в обе стороны до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	Могут работать под осевыми нагрузками при высоких числах оборотов, т. е. в условиях, для которых упорные шарикоподшипники непригодны
	То же, но с канавкой на наружном кольце	50000	ГОСТ 2893-54	Радиальная. Осевая в обе стороны	Применение установочного кольца позволяет производить сквозную обработку отверстий в корпусах под посадку наружных колец
	То же, но с одной защитной шайбой	60000	ГОСТ 7242-54	Радиальная. Осевая в обе стороны до 70% неиспользованной допустимой, радиальной нагрузки	Могут выполняться с канавкой для установочного кольца по ГОСТ 2893-54
	То же, но с двумя защитными шайбами	80000	ГОСТ 7242-54	То же	—
	То же, но с односторонним уплотнением	16000	ГОСТ 8882-58	То же	—
	То же, но с двухсторонним уплотнением	180000	ГОСТ 8882-58	То же	—

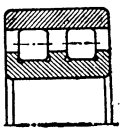
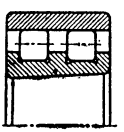
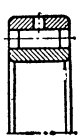
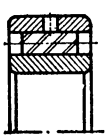
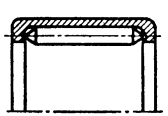
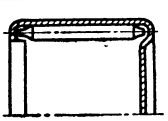
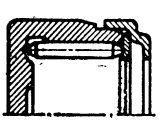
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	То же, но с односторонним фетровым уплотнением	20000	ГОСТ 4061-48	Радиальная. Осевая в обе стороны до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	—
	То же, но с двухсторонним фетровым уплотнением	30000	ГОСТ 4061-48	То же	—
	Радиальные двухрядные сферические (самоустанавливающиеся)	1000	ГОСТ 5720-51	Радиальная Небольшая осевая	Допускают значительные перекосы внутреннего кольца (вала) относительно наружного кольца (корпуса)
	То же, но на закрепительных втулках (самоустанавливающиеся)	11000	ГОСТ 8545-57	То же	То же, но допускают регулировку радиального зазора и монтаж на гладких валах
б) Роликоподшипники					
	Радиальные однорядные с короткими цилиндрическими роликами, без бортов на наружном кольце	2000	ГОСТ 8328-57	Радиальная	Допускают раздельный монтаж внутреннего (с комплектом роликов) и наружного кольца. Подшипники могут применяться без наружных колец
	То же, но с однобортовым наружным кольцом	12000	ГОСТ 8328-57	То же	То же

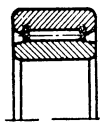
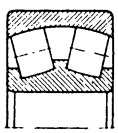
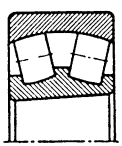
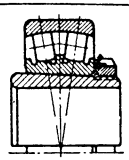
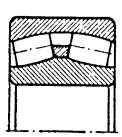
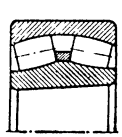
Продолжение табл. № 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	То же, но без бортов на внутреннем кольце	32000	ГОСТ 8328-57	Радиальная	Допускают раздельный монтаж внутреннего и наружного (с комплектом роликов) колец. Подшипники могут применяться без внутренних колец
	То же, но с однобортовым внутренним кольцом	42000	ГОСТ 8323-57	То же	То же
	То же, но с плоским упорным кольцом	92000	ГОСТ 8328-57	То же	То же
	То же, но с безбортовым внутренним кольцом и фасонным упорным кольцом	52000	ГОСТ 8328-57	То же	То же
	То же, но с однобортовым внутренним кольцом и фасонным упорным кольцом	62000	ГОСТ 8328-57	То же	То же
	То же, но с безбортовым наружным кольцом и двумя запорными шайбами (неразъемные)	102000	ГОСТ 8328-57	То же	Изготовляются без сепаратора с увеличенным числом роликов

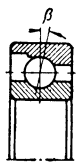
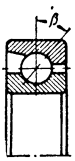
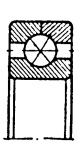
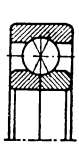
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	Радиальные двухрядные с короткими цилиндрическими роликами	3282000	ГОСТ 7634-56	Радиальная	—
	То же, но с коническим отверстием (конусность 1 : 12)	3182000	ГОСТ 7634-56	То же	Допускают регулировку радиального зазора
	Радиальные однорядные с длинными цилиндрическими роликами	4000	—	То же	Отношение длины ролика к его диаметру больше 2 Подшипники могут применяться без внутренних и без обоих колец (комплекты роликов в сепараторах)
	То же, но с витыми роликами	5000	ОСТ 26005	То же	
	Радиальные однорядные с игольчатыми роликами с одним наружным штампованным кольцом	940	ГОСТ 4060-60	То же	Отношение длины ролика к его диаметру больше 4
	То же, но с наружным штампованным кольцом, имеющим несквозное отверстие	6940	ГОСТ 4060-60	То же	То же Подшипники для посадки только на концах валов
	То же, но с массивным кольцом	804000	—	То же	То же

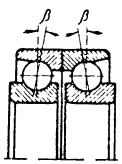
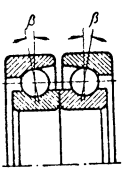
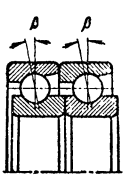
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	То же, но с двумя кольцами и с бортами на наружном кольце	74000	ГОСТ 4657-60	Радиальная	Отношение длины ролика к его диаметру больше 4. Подшипники могут применяться без внутренних колец
	Радиальные двухрядные сферические (самоустанавливающиеся) с несимметричными бочкообразными роликами	3000	ГОСТ 5721-57	Радиальная. Осевая в обе стороны — до 25% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	Допускают значительный перекос внутреннего кольца (вала) относительно наружного кольца (корпуса)
	То же, но с коническим отверстием (конусность 1 : 12)	113000	ГОСТ 5721-57	То же	То же, но допускают регулировку радиального зазора
	То же, но на закрепительной втулке	13000	ГОСТ 8545-57	То же	То же, но допускают монтаж на гладких валах
	То же, что и подшипник типа 3000, но с симметричными бочкообразными роликами	53000	—	То же	Допускают значительный перекос внутреннего кольца (вала) относительно наружного кольца (корпуса)
	То же, но с коническим отверстием (конусность 1 : 12)	153000	—	То же	То же, но допускают регулировку радиального зазора

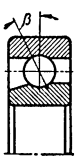
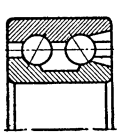
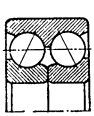
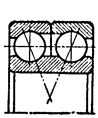
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	II. Радиально-упорные подшипники				
	а) Шарикоподшипники				
	Радиально-упорные однорядные (разъемные) с расчетным углом контакта $\beta = 12°$	6000	ГОСТ 831-54	Радиальная. Осевая (только в одну сторону) до 30% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	Допускают раздельный монтаж наружного и внутреннего колец (с шариками)
	То же, неразъемные	36000	ГОСТ 831-54	Радиальная. Осевая (только в одну сторону) до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	—
	То же, с углом $\beta = 26°$	46000	ГОСТ 831-54	Радиальная. Осевая (только в одну сторону) до 150% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	—
	То же, с углом $\beta = 36°$	66000	ГОСТ 831-54	Радиальная. Осевая (только в одну сторону) до 200% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	При одинаковых диаметральных размерах допускают более высокие скорости вращения, чем упорные шарикоподшипники
	То же, с двумя наружными кольцами	116000	ГОСТ 8995-59	Радиальная. Осевая в обе стороны	Четырехточечное касание шариков при данном радиальном зазоре обусловливает наименьшую осевую игру подшипника
	То же, с двумя внутренними кольцами	176000	ГОСТ 8995-59	То же	То же

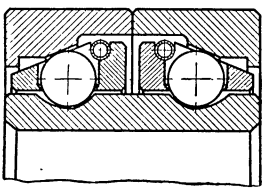
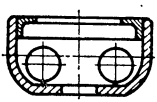
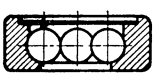
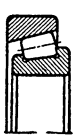
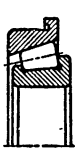
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
 Подшипники в свободном состоянии (т. е. до монтажа)	То же, что и подшипники типов 36000, 46000 и 6600, но сдвоенные (наружные кольца обращены друг к другу широкими торцами); с расчетным углом контакта $\beta = 12°$ То же, с углом $\beta = 26°$ То же, с углом $\beta = 36°$	236000 246000 266000	ГОСТ 832-57	Радиальная в 1,8 раза больше, чем у соответствующего однорядного подшипника. Осевая (в обе стороны) такая же, как у однорядного подшипника	Монтируются обычно с предварительным натягом. Обеспечивают хорошую фиксацию вала в радиальном и обоих осевых направлениях Подшипники типов 236000, 246000 и 266000 обеспечивают более жесткую угловую фиксацию вала, чем соответствующие подшипники типов 336000, 346000 и 366000
 Подшипники в свободном состоянии (т. е. до монтажа)	То же, но с другим расположением колец (наружные кольца обращены друг к другу узкими торцами); с расчетным углом контакта $\beta = 12°$ То же с углом $\beta = 26°$ То же с углом $\beta = 36°$	336000 346000 366000	ГОСТ 832-57		
 Подшипники в свободном состоянии (т. е. до монтажа)	То же, но с другим расположением колец (наружные кольца обращены друг к другу разноименными торцами); с расчетным углом контакта $\beta = 12°$ То же с углом $\beta = 26°$ То же, с углом $\beta = 36°$	436000 446000 466000	ГОСТ 832-57	Радиальная. Осевая только в одну сторону. Две пары подшипников, расположенные противоположно друг другу, по грузоподъемности эквивалентны двум подшипникам соответственно типов 236000, 246000, 266000 или 336000, 346000, 366000	Применяется в двух парах с противоположным расположением или же в сочетании с третьим замыкающим подшипником. Для особо тяжелых осевых нагрузок допускают комбинации из трех и более подшипников по этому же принципу. Для создания предварительного натяга комплекта таких подшипников замыкают другим подшипником с противоположной стороны

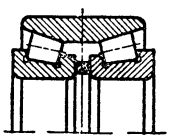
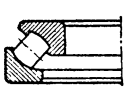
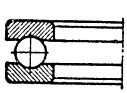
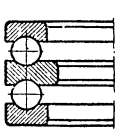
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	Радиально-упорные однорядные со скошенным бортом внутреннего кольца, с расчетным углом контакта $\beta = 12°$	536000	—	Радиальная. Осевая только в одну сторону — до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	—
	То же, с углом $\beta = 26°$	546000	—	Радиальная. Осевая только в одну сторону — до 150% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	—
	То же, с углом $\beta = 36°$	566000	—	Радиальная. Осевая только в одну сторону — до 200% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	При одинаковых диаметральных размерах допускают более высокие скорости вращения, чем упорные шарикоподшипники
	То же, но двухрядные (с цельными кольцами)	56000	ГОСТ 4252-48	Радиальная. Осевая в обе стороны — до 80% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	Один подшипник обеспечивает жесткую фиксацию вала в осевом направлении
	То же, но с цельным наружным и двумя внутренними кольцами	86000	—	То же	То же, но допускают регулировку предварительного натяга
	То же, но с цельным внутренним и двумя наружными кольцами	456000	—	То же	То же

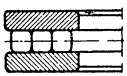
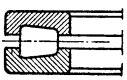
Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
 То же, но с трехточечным контактом.		—	—	Радиальная. Осевая в обе стороны	—
	Радиально-упорные миниатюрные	—	—	Радиальная. Осевая только в одну сторону	—
	То же, чашечные	506000	—	То же	—
	б) Роликоподшипники				
	С коническими роликами радиально-упорные однорядные	7000	ГОСТ 333-59	Радиальная. Осевая только в одну сторону — до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	Подшипники в паре могут работать при радиальной нагрузке. Для чисто осевой нагрузки подшипники применять не рекомендуется. Допускают регулировку радиального зазора и осевой игры
	То же, с упорным бортом на наружном кольце	67000	ГОСТ 3169-46	То же	То же Наличие борта на наружном кольце позволяет производить сквозную обработку отверстий корпуса под посадку наружных колец
	То же, с большим углом конуса	27000	ГОСТ 7260-54	Радиальная. Осевая только в одну сторону — до 150% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	—

Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
	С коническими роликами, радиально-упорные двухрядные с цельным наружным и двумя внутренними кольцами	97000	ГОСТ 6364-52	Радиальная — до 170% радиальной нагрузки соответствующих однорядных подшипников. Осевая в обе стороны — до 40% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	Допускают регулировку радиального зазора и осевой игры
	То же, четырехрядные	77000	ГОСТ 8419-57	Радиальная — до 300% радиальной нагрузки соответствующего однорядного подшипника. Осевая в обе стороны — до 20% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки	То же
III. Упорно-радиальные подшипники					
	Одинарные	39000	—	Осевая в одну сторону. Радиальная — до до 15% неиспользованной допустимой осевой нагрузки при одновременном действии с осевой	Допускают более высокие скорости вращения, чем другие упорные шарико- и роликоподшипники
IV. Упорные подшипники *а) Шарикоподшипники*					
	Одинарные	8000	ГОСТ 6874-54	Осевая в одну сторону	
	Двойные	38000	ГОСТ 7874-56	Осевая в обе стороны	—

Продолжение табл. 1

Эскиз	Наименование (тип) подшипника	Условное обозначение типа	№ стандарта	Воспринимаемая нагрузка (основная и дополнительная)	Примечание
		б) Роликоподшипники			
	Упорные одинарные, с цилиндрическими роликами	9000	—	Осевая в одну сторону	—
	Упорные одинарные, с коническими роликами	19000	ГОСТ 5380-50	То же	—

2. Сравнительные грузоподъемность и быстроходность подшипников

Тип подшипника	Условное обозначение	Грузоподъемность	Предельное число оборотов
Шарикоподшипник радиальный однорядный	00000	1*	1*
То же, двухрядный сферический . . .	1000	0,8	0,9
Роликоподшипник с короткими цилиндрическими роликами	2000	1,5	1
Роликоподшипник двухрядный сферический	3000	2,5	0,7
Шарикоподшипник радиально-упорный	36000	1,2	1
Роликоподшипник конический однорядный	7000	1,7	0,7
То же, двухрядный .	97000	3,3	0,6
То же, четырехрядный	77000	6,4	0,5
Шарикоподшипник упорный	8000	—	0,3

* За единицу приняты радиальная грузоподъемность и предельное число оборотов радиальных однорядных шарикоподшипников типа 00000.

Радиальные шарикоподшипники фиксируют осевое положение вала (корпуса) в обоих направлениях в пределах величины осевого зазора. Эти подшипники допускают при невысоких скоростях небольшие перекосы валов. Однако для повышения долговечности подшипников желательно, чтобы перекосы были возможно меньшими.

Число конструктивных разновидностей этого типа подшипников весьма значительно.

К ним относятся:

1. Подшипники с канавкой на наружном кольце для установочного кольца, что упрощает осевое крепление подшипника в корпусе, устраняет необходимость предусматривать упорные заплечики в отверстиях корпусов и позволяет производить сквозную расточку отверстия в корпусе.

2. Подшипники с устройствами, предохраняющими от загрязнения и утечки смазки. Они выполняются с одной или двумя защитными шайбами, с одним или двумя фетровыми или резиновыми уплотнениями.

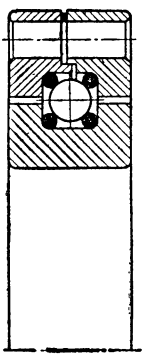
3. Подшипники с наружным кольцом, имеющим с одной стороны раскрытый борт (наподобие магнетных подшипников), что позволяет увеличить число шариков и этим повысить грузоподъемность и жесткость подшипника. Осевая нагрузка в них может быть только односторонней.

4. Подшипники с канавкой для ввода шариков. Такая конструкция также позволяет увеличить число шариков в подшипнике. Однако наличие канавки не позволяет нагружать этот подшипник осевой нагрузкой.

5. Подшипники с двухсторонним уплотнением и сферической посадочной поверхностью наружного кольца, позволяющей им самоустанавливаться при

монтаже и компенсировать несоосность посадочных мест.

Весьма разнообразна конструкция сепараторов радиальных шарикоподшипников. В массовом производстве приняты змейковая конструкция сепаратора из двух половинок, соединяемых заклепками, а также конструкция сепаратора с загибающимися усиками.



Фиг. 1. Проволочный шарикоподшипник.

В высокооборотных подшипниках, выпускаемых в небольших количествах, нашли применение массивные сепараторы из латуни, текстолита и других материалов.

При проектировании новых машин следует ориентироваться на применение радиальных однорядных шарикоподшипников, вследствие их невысокой стоимости, простоты монтажа и способности воспринимать комбинированные нагрузки.

Эти подшипники устанавливаются в редукторах, металлорежущих станках, электродвигателях малой и средней мощности, транспортерах и многих других машинах.

В последнее время у нас и за границей появились так называемые «проволочные подшипники». Общий вид такого подшипника представлен на фиг. 1. Он состоит из проволок, размещенных в канавках подшипниковых колец, и комплекта шариков. Концы проволок имеют плоский стык с небольшим зазором для компенсации удлинений от температуры и для обеспечения лучшего прилегания проволок к канавкам колец. Для увеличения площади контакта проволок с шариками подшипники подвергаются обкатке, а иногда проволоки предварительно шлифуются. Для сохранения определенного расстояния между шариками подшипники снабжаются сепараторами или другими устройствами.

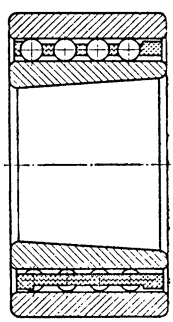
Проволочные подшипники по сравнению с обычными шарикоподшипниками имеют следующие преимущества:

а) кольца можно изготовлять из материалов низкой твердости без термической обработки, при этом кольца не испытывают коробления и отпадает необходимость в шлифовальных операциях, что особенно существенно для крупногабаритных подшипников, когда затраты на шлифовальные работы резко возрастают;

б) кольца могут быть изготовлены из стали, чугуна, легких металлов и пластмасс и, что очень важно, в качестве колец могут быть использованы детали узла, чем обеспечивается максимальная компактность конструкции;

в) облегчается ремонт подшипников, который сводится к замене проволок и шариков.

Проволочные подшипники выпускаются с размером наружного диаметра до 4 *м*. Кроме радиальных, изготовляются также радиально-упорные и упорные проволочные подшипники. Проволочные подшипники нашли применение в оптической промышленности (зеркальные телескопы, подзорные трубы), в радиотехнике (радарные зонты, антенны), в станкостроении (планшайбы, поворотные столы) и в ряде других отраслей машиностроения.



Фиг. 2. Многорядный безжелобный шарикоподшипник.

Многорядный шарикоподшипник нестандартной конструкции, показанный на фиг. 2, также имеет перспективы внедрения в промышленность. Этот подшипник не имеет желобов на кольцах, что позволяет отрабатывать последние с очень высокой точностью. Второй особенностью подшипника при обычной или несколько большей высоте его является большое количество шариков, размещенных по спирали: это обеспечивает бо́льшую жесткость (примерно в 3—4 раза бо́льшую, чем у стандартных шарикоподшипников тех же диаметральных размеров) и виброустойчивость подшипника, а также малый износ колец. Третья особенность подшипника — отверстие внутреннего кольца конусное; это позволяет монтировать подшипники с заранее заданным предварительным натягом. Перечисленные особенности подшипника весьма ценны для опор шпинделей скоростных и точных металлорежущих станков, для которых и был спроектирован рассматриваемый подшипник.

Шариковые радиальные двухрядные сферические подшипники (тип 1000) способны воспринимать радиальные и небольшие осевые нагрузки. Для восприятия значительных осевых нагрузок применять их не рекомендуется, так как в этом случае будет нагружен только один ряд шариков и грузоподъемность подшипника снизится. Кроме того, шарики здесь меньшего диаметра и соотношение радиусов кривизны в местах контакта шариков с наружным кольцом неблагоприятное. Сферические подшипники лучше, чем радиальные однорядные, работают при качательных движениях. Эти подшипники могут применяться при высоких числах оборотов. Они обеспечивают фиксацию осевого положения вала (корпуса) в обоих направлениях и допускают перекосы посадочных мест до 2—3°. При установке вала на трех и более подшипниках желательно, чтобы все центры расточек посадочных мест во избежание перегрузки подшипников лежали на одной прямой.

При установке в одной опоре двух подшипников свойство их самоустанавливаемости теряется.

Сферические шарикоподшипники могут иметь цилиндрическое или коническое отверстие внутреннего кольца. Последнее обеспечивает возможность монтажа подшипников (для трансмиссий, вентиляторов, сельскохозяйственных и текстильных машин) на закрепительных втулках, что позволяет использовать гладкие валы без заплечиков, обработанные по 3-му классу точности. Сепараторы этих подшипников обычно выполняются штампованными и только у подшипников больших размеров, выпускаемых в малых количествах, и высокоточных подшипников применяют массивные, преимущественно латунные сепараторы.

Эти подшипники устанавливают там, где имеются отдельно стоящие опорные узлы.

Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами (тип 2000) предназначены воспринимать значительные радиальные нагрузки и только некоторые типы из них дополнительно воспринимают кратковременные осевые нагрузки, фиксируя вал в осевом направлении. По быстроходности данные подшипники не уступают радиальным однорядным шарикоподшипникам, но требуют более точной соосности посадочных мест. При отсутствии строгой соосности возникают кромочные давления роликов на дорожки качения, резко снижающие срок службы подшипников.

Конструктивные разновидности подшипников зависят от наличия и расположения бортов на наружных и внутренних кольцах. Имеется восемь стандартных разновидностей этих подшипников, а также стандартные подшипники без наружного или внутреннего колец.

Подобно шариковым, эти подшипники выпускают со штампованными или массивными сепараторами. Последние обычно центрируются по двухбортовому кольцу. При особо высоких скоростях иногда сепаратор центрирует по безбортовому наружному кольцу. Массивные сепараторы изготовляются из латуни, бронзы, малоуглеродистой стали и дуралюмина.

Сепараторы могут иметь сепараторные шайбы или они могут быть цельными с окнами для роликов, изготовленными протягиванием.

Для снижения больших кромочных давлений при несоосности посадочных мест, применяют ролики со скосами или кольца с выпуклой беговой дорожкой (бомбиной).

Специальную группу представляют двухрядные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами типа 3182000. Особенностью этих подшипников является шахматное расположение роликов, которое обеспечивается соответствующим размещением гнезд в сепараторе. Большое количество роликов и их размещение обеспечивают повышенную жесткость подшипника в радиальном направлении и плавность его вращения.

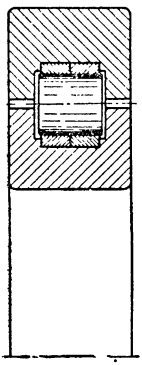
Коническое отверстие внутреннего кольца позволяет обеспечить при монтаже малые радиальные зазоры и радиальный предварительный натяг, что важно для шпинделей прецизионных станков (токарных, фрезерных и шлифовальных).

Обычно роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами применяются в электродвигателях, скоростных вентиляторах, редукторах, буксах железнодорожного транспорта.

За последние годы начали изготовлять проволочные роликоподшипники. Радиальный с короткими цилиндрическими роликами проволочный роликоподшипник имеет плоские проволоки, размещен-

ные в наружном и на внутреннем кольцах (фиг. 3).

Проволочные роликоподшипники обладают теми же преимуществами, что и шариковые радиальные подшипники этого типа (см. стр. 14).

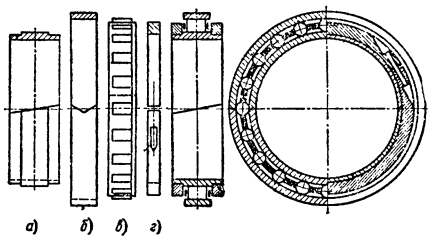


Фиг. 3 Проволочный роликоподшипник.

На фиг. 4 представлен разъемный роликоподшипник, состоящий из двух внутренних полуколец *а*, имеющих косой стык, двух наружных полуколец *б*, имеющих V-образный стык, двух половин сепараторов *в*, и четырех зажимных полуколец *г*, попарно соединенных с помощью болтов. При монтаже, существенно облегченном разъемной конструкцией подшипника, рекомендуется наружные кольца устанавливать так, чтобы место стыка находилось в ненагруженной зоне подшипника.

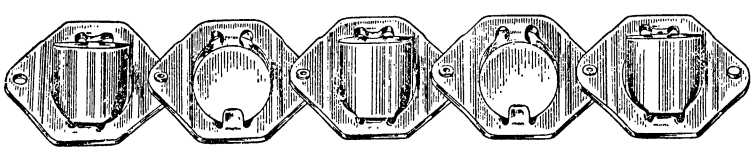
Особое место среди подшипников с цилиндрическими роликами занимает

служащих для удержания цилиндрических роликов в определенном положении. Размеры роликов выбираются так, чтобы длина ролика была на 0,2 *мм* меньше диаметра. Оси вращения роли-



Фиг. 4. Разъемный роликоподшипник.

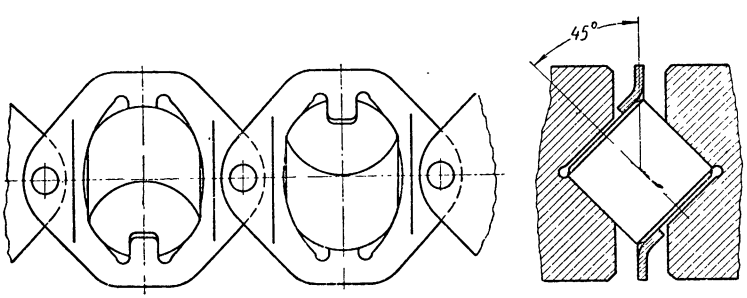
ков цепи, представленной на фиг. 5, расположены перпендикулярно друг к другу (крестовидная цепь), но изготовляют цепи и с параллельным расположением осей всех роликов. Отдельные звенья цепи соединяются между собой посредством заклепок. Дорожки качения для роликов обычно предусматриваются на соответствующих деталях узла. Роликовые цепи характеризуются незначительным



Фиг. 5. Роликовая крестообразная цепь.

так называемая роликовая цепь, устройство которой показано на фиг. 5,

коэффициентом трения, особенно в момент трогания с места, большой точно-



Фиг. 6. Схема расположения роликовой цепи в рабочем месте.

а схема установки роликов — на фиг. 6. Эта цепь состоит из шарнирных звеньев, изготовленных из листовой стали и

стью перемещения и жесткостью конструкции. Роликовые цепи используются как в узлах с прямолинейным движени-

ем (например, салазки металлорежущих станков), так и в опорах вращающихся деталей машины.

Роликоподшипники радиальные сферические двухрядные (тип 3000) имеют наибольшую радиальную грузоподъемность по сравнению с подшипниками любых других типов (за исключением игольчатых и многорядных конических роликоподшипников). Эти подшипники компенсируют некоторую несоосность и прогибы вала, а также воспринимают и комбинированную нагрузку. Однако устанавливать их под чисто осевую нагрузку не рекомендуется, так как в этом случае работает только один ряд роликов и, следовательно, грузоподъемность подшипника резко снижается.

Подшипники фиксируют вал в осевом направлении в обе стороны в пределах имеющихся осевых зазоров.

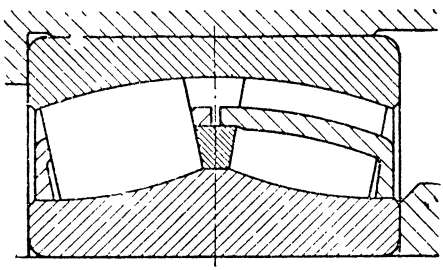
При установке в опоре двух подшипников свойство самоустанавливаемости их теряется. Подшипники выпускаются с цилиндрическими и коническими отверстиями внутренних колец. Последние монтируются на коническую шейку вала, на закрепительную втулку (тип 13000) или на закрепительно-стяжную втулку (для вагонных букс).

Ролики сферических роликоподшипников могут иметь симметричную или асимметричную форму.

Конструкция с симметричной формой роликов не применялась в связи с очень высокими труднодостижимыми требованиями к точности изготовления. В современной конструкции (фиг. 7) этих подшипников профили дорожек качения представляют собой дуги окружности. Между дорожками качения внутреннее кольцо имеет цилиндрическую поверхность, по которой центрируется «плавающее» кольцо, направляющее движение роликов. Так как в этом подшипнике нет жесткого направляющего борта, то ролики самоустанавливаются таким образом, что результирующая сила действует в плоскости симметрии ролика. Самоустанавливаемость роликов — основная особенность этой конструкции по сравнению с обычной, где происходит только самоустанавливаемость наружных колец. Подшипники с симметричной формой роликов имеют бо́льшую грузоподъемность, чем обычные тех же радиальных габаритов, примерно на 25%. Такое повышение грузоподъемности достигнуто оптимальным соотношением радиусов кривизны профилей дорожек качения колец и роликов, применением более длинных роликов.

Новая конструкция сферического роликоподшипника по сравнению с прежней требует меньшего расхода металла при изготовлении. Однако потери на трение и в новой конструкции сферического роликоподшипника остаются значительными.

В новом подшипнике кинематика роликов менее благоприятна и возможно большее проскальзывание, для компенсации которого необходимо более точное изготовление деталей. Повышенная точность изготовления необходима



Фиг. 7. Сферический роликоподшипник с симметричными роликами и «плавающим» средним бортом.

также для того, чтобы свободное кольцо точно направляло ролики и, в свою очередь, само имело точное направление, что возможно при изготовлении роликов с минимальным биением в осевом направлении.

Сепараторы сферических роликоподшипников выполняются массивными, состоящими из двух половин, или штампованными.

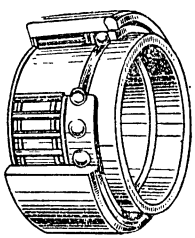
Сферические роликоподшипники обычно устанавливают на длинных валах, подверженных значительным прогибам, или в опорах отдельных корпусов, не имеющих общей плиты. Подшипники на закрепительных втулках устанавливаются на гладких многоопорных валах без заплечиков. Подшипники с коническим отверстием, а также подшипники на закрепительно-стяжных втулках устанавливают на концевых опорах валов или осей (например, в вагонных буксах). Наличие конического отверстия облегчает их монтаж и демонтаж.

Сферические роликоподшипники рекомендуется применять для насосов, мощных вентиляторов, дымососов, лесопильных рам, грохотов, редукторов, гребных валов, прокатных станов и других

машин, где действуют большие радиальные нагрузки и неизбежна некоторая несоосность посадочных мест.

Роликоподшипники игольчатые обладают при минимальных радиальных габаритах максимальной радиальной грузоподъемностью.

Осевые нагрузки игольчатые подшипники не воспринимают. Этот недостаток устранен в специальном подшипнике, показанном на фиг. 8, имеющем, кроме ряда игл, дополнительный ряд шариков, что дает ему возможность воспринимать также и осевые нагрузки. По допускаемым скоростям вращения игольчатые подшипники уступают обычно роликоподшипникам, но они хорошо работают в условиях качательного движения одного из колец даже при большой частоте качаний. Эти подшипники весьма чувствительны к прогибам валов и несоосности посадочных мест.



Фиг. 8. Специальный игольчатый подшипник.

Игольчатые подшипники выпускаются следующих конструктивных разновидностей:

а) комплектные с точеным внутренним и наружным кольцами;

б) с точеным наружным кольцом без внутреннего кольца:

в) со штампованным наружным кольцом;

г) без колец с иглами, заключенными в точеный или штампованный сепаратор.

При применении подшипников, иглы которых катятся непосредственно по валу или по корпусу, твердость этих деталей должна быть не ниже *HRC* 60. Иглы могут быть с полукруглыми или коническими концами.

Комплекты игл, заключенных в сепаратор, могут применяться не только для вращательного движения, но также и для прямолинейного возвратно-поступательного движения. В последнем случае сепаратор представляет собой прямоугольную пластину с окнами для игл.

Подшипники с игольчатыми роликами применяют в узлах, требующих компактности в радиальном направлении, и в узлах с качательным движением.

В узлах с очень ограниченными радиальными габаритами устанавливают свободные иглы без сепаратора или иглы, заключенные в сепаратор. Дорожками качения служат соответственно обработанные поверхности вала и корпуса, имеющие требуемую твердость.

В качестве примеров применения игольчатых подшипников можно указать: поршневые и шатунные пальцы, буровые станки-качалки, опоры кривошипно-шатунных и кулисных механизмов, карданы и коробки передач автомобилей, серьги рессор, узлы фрезерных станков.

Роликоподшипники с витыми роликами (тип 5000) воспринимают только радиальные нагрузки, не фиксируя валы в осевом направлении. Они хорошо воспринимают ударные нагрузки и менее чувствительны к загрязнению, чем другие типы подшипников.

По сравнению с подшипниками, имеющими сплошные цилиндрические ролики, они примерно вдвое менее грузоподъемны и могут работать только при небольших скоростях. Поэтому эти подшипники не являются перспективными и их применение сокращается.

Подшипники с витыми роликами могут быть: комплектными с наружным и внутренним кольцами и сепаратором (тип 5000); некомплектными с наружным или внутренним кольцом и сепаратором (тип 35000); со штампованным разрезным наружным кольцом (тип 45000) или без колец, только из сепаратора с роликами (тип 65000). Для облегчения монтажа и демонтажа, а также предотвращения проворачивания внутреннего кольца некоторые тихоходные подшипники выпускают с удлиненным внутренним кольцом, имеющим паз для закрепления его на валу (тип 15000).

Роликоподшипники с витыми роликами применяют в тихоходных узлах, не требующих точности вращения, например в рольгангах прокатных станов, в узлах сельскохозяйственных машин и комбайнов, в неответственных узлах тракторов, на трансмиссионных валах металлургического оборудования.

Шарикоподшипники радиально-упорные способны воспринимать комбинированные (радиальные и осевые) нагрузки. Осевая грузоподъемность их зависит от угла контакта, который составляет для типа 36000 — 12°; для типа 46000 — 26°; для типа 66000 — 36°.

Радиально-упорные подшипники указанных типов воспринимают осевую

нагрузку только в одном направлении, поэтому для фиксации вала в обе стороны они устанавливаются попарно.

Для восприятия очень больших осевых нагрузок подшипники могут быть установлены по два, по три и более в одной опоре, по схеме «Тандем», т. е. таким образом, что узкий торец наружного кольца одного подшипника касается широкого торца наружного кольца другого подшипника. Для такой установки подшипники должны быть специально подобраны,— только в этом случае возможно сравнительно равномерное распределение действующей нагрузки между несколькими подшипниками. При парной установке подшипников возможен их предварительный натяг, что резко повышает жесткость и точность вращения вала.

Подшипниковые заводы выпускают специально сдвоенные подшипники трех видов:

1) широкими торцами наружных колец друг к другу (тип 236000);

2) узкими торцами наружных колец друг к другу (тип 336000);

3) «Тандем», т. е. широким торцом наружного кольца одного подшипника к узкому торцу наружного кольца другого подшипника (тип 436000).

По своим скоростным возможностям радиально-упорные шарикоподшипники с небольшим углом контакта (12°) не уступают радиальным однорядным шарикоподшипникам. Увеличение же угла контакта снижает быстроходность подшипников этого типа.

Подшипники типов 36000, 460000, 66000 выпускаются с замко́м на наружном кольце, который не дает возможности разъема подшипника при монтаже. Подшипники типа 6000 — разъемные (без замка́), что позволяет производить раздельный монтаж внутренних и наружных колец.

Сепараторы подшипников могут быть штампованными или точеными,— последние изготовляются чаще из цветных металлов или текстолита. Центрирование массивных сепараторов обычно производится по бортикам внутренних колец. За последнее время в СССР появились радиально-упорные подшипники, сепараторы которых центрируются по бортикам наружных колец, что является более целесообразным. В этом случае наружные кольца по своей форме аналогичны наружным кольцам радиальных однорядных подшипников, а внутренние кольца имеют только один борт и замо́к.

К радиально-упорным подшипникам относятся так называемые «трехточечные» и «четырехточечные» подшипники.

Эти подшипники имеют разрезное внутреннее или наружное кольцо. Такая конструкция позволяет применить целый сепаратор и максимальное количество шариков с углом контакта 26°. При установке их один подшипник фиксирует вал в осевом направлении в обе стороны.

Радиально-упорные шарикоподшипники применяют в узлах, требующих точного центрирования. Валы должны быть жесткими, а расстояние между опорами небольшим. К числу узлов, в которых они нашли применение, можно отнести: шпиндели металлорежущих станков (шлифовальные шпиндели) и деревообрабатывающих станков, малые электродвигатели, центрифуги, червячные редукторы, механизмы приборов, головки прошивных станов.

Конические роликоподшипники (тип 7000) — радиально-упорные однорядные могут воспринимать радиальные и осевые нагрузки. Они аналогичны однорядным радиально-упорным шарикоподшипникам и поэтому должны устанавливаться попарно для фиксации вала в осевом направлении.

Способность воспринимать осевые нагрузки зависит от угла конусности наружного кольца подшипника. С увеличением угла осевая грузоподъемность возрастает за счет уменьшения радиальной. Допустимые числа оборотов в минуту для конических роликоподшипников по сравнению с подшипниками, имеющими цилиндрические ролики, значительно ниже и примерно такие же, как у сферических роликоподшипников. Конические роликоподшипники — разъемные, поэтому монтаж и демонтаж их наружных и внутренних колец ведут раздельно.

Наряду с основной конструкцией (тип 7000) выпускаются следующие разновидности конических роликоподшипников:

а) с упорным бортом на наружном кольце (тип 67000); наличие борта у наружного кольца позволяет производить сквозную расточку отверстий корпусов без заплечиков;

б) с большим углом конуса наружных колец (тип 27000); такие подшипники хорошо работают при больших осевых нагрузках;

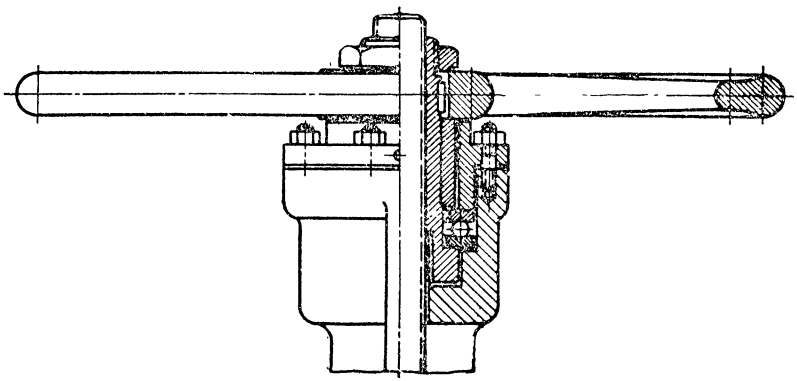
в) двухрядные (тип 97000);

г) четырехрядные подшипники (тип 77000); двухрядные и четырехрядные подшипники фиксируют вал в осевом направлении в обе стороны.

Однорядные конические подшипники при монтаже и в процессе эксплуатации требуют тщательной регулировки осевых зазоров, очень малая или чрезмерно большая величина которых может привести к недопустимому повышению радиальных нагрузок.

Для облегчения монтажно-демонтажных операций при посадке внутренних колец с натягом промышленность начала выпускать конические двух- и четырехрядные роликоподшипники с конусным отверстием внутренних колец.

Шарикоподшипники упорные (тип 8000) могут воспринимать только осевые нагрузки. Одинарные подшипники вос-



Фиг. 9. Использование одинарного упорного шарикоподшипника для восприятия осевых сил обоих направлений.

бочей температуры и даже разрушению деталей подшипника.

Однорядные конические подшипники нашли применение в колесах самолетов, автомобилей, вагонеток и кранов, в катках гусеничных тракторов, в цилиндрических редукторах средней и большой мощности, а также в червячных редукторах (тип 27000), в коробках передач, шпинделях токарных и других металлорежущих станков и пр.

Двухрядные и четырехрядные конические роликоподшипники при монтаже не требуют регулировки. В случае образования в процессе эксплуатации чрезмерных зазоров уменьшение их производится подшлифовкой дистанционных колец.

Двухрядные конические роликоподшипники применяют в рабочих и транспортных рольгангах прокатных станов, в мощных редукторах, опорах барабанов и в других тяжелонагруженных узлах. Четырехрядные конические роликоподшипники используются пока только для опор прокатных валков. В дальнейшем с использованием масла под давлением при монтаже и демонтаже можно ожидать расширения сферы их применения для узлов с очень большими радиальными нагрузками.

принимают нагрузки в одном направлении, двойные — в обоих направлениях.

Следует отметить, что в тихоходных эпизодически работающих узлах одинарные упорные подшипники могут быть установлены для восприятия реверсивной осевой нагрузки. В качестве примера такой конструкции на фиг. 9 показан подшипниковый узел задвижки. Упорный шарикоподшипник установлен с радиальными зазорами в местах посадки как тугих, так и свободных колец.

Допускаемые скорости упорных подшипников невелики, поэтому при повышенных числах оборотов, особенно на горизонтальных валах, применять их не рекомендуется. В этом случае надо устанавливать или радиальные однорядные шарикоподшипники, если нагрузки невелики, или при значительных нагрузках радиально-упорные шариковые или роликовые подшипники.

Упорные подшипники выпускаются следующих разновидностей: одинарные, двойные и с подкладными сферическими кольцами.

Последняя разновидность упорных подшипников нестандартная и к приме-

нению в новых машинах не рекомендуется, так как из-за наличия большого трения скольжения сферы свободного кольца подшипника по сфере подкладного кольца подшипник в процессе работы не самоустанавливается.

Для устранения монтажных перекосов вместо сферических подкладных колец под опорную поверхность свободного кольца подшипника можно подкладывать прокладки из линолеума или кожи.

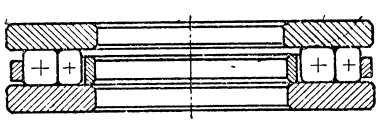
Сепараторы упорных подшипников выполняются штампованными из листовой стали или массивными из бронзы, антифрикционной или обычной стали. Упорные шарикоподшипники применяют в тихоходных редукторах, в том числе в червячных, для крюков кранов, для шпинделей и вращающихся центров металлорежущих станков (токарных, фрезерных и др.), для домкратов, задвижек, поворотных устройств.

Упорные роликоподшипники (тип 9000) способны воспринимать большие осевые нагрузки, а некоторые из них также небольшие радиальные нагрузки.

Допускаемые скорости этих подшипников очень невелики, поэтому при больших нагрузках и значительных числах оборотов вместо них применяют комплекты радиально-упорных подшипников с большим углом контакта.

Упорные роликоподшипники подразделяются по форме роликов на:

а) подшипники с цилиндрическими роликами, у которых с целью уменьшения неизбежного скольжения, обусловленного разностью линейных скоростей на линиях контакта, вместо длинных роликов устанавливают по два и более коротких ролика разной длины (фиг. 10);

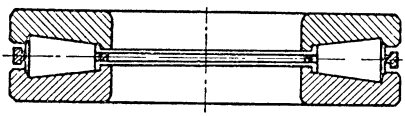


Фиг. 10. Упорный роликоподшипник с цилиндрическими роликами.

б) подшипники с коническими роликами, у которых вершины образующих конических поверхностей роликов должны пересекаться в одной точке на оси подшипника (фиг. 11).

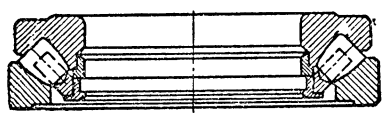
Эти подшипники могут иметь оба кольца с бортами (тип 9019000) или одно кольцо с бортом, а второе плоское;

в) подшипники с бочкообразными роликами (фиг. 12), способные воспринимать, наряду с осевыми, небольшие радиальные нагрузки и поэтому относящиеся к упорно-радиальным подшипникам



Фиг. 11. Упорный роликоподшипник с коническими роликами.

Сепараторы упорных роликоподшипников обычно выполняются массивными из цветного металла или из стали.



Фиг. 12. Упорно-радиальный роликоподшипник.

Упорные роликоподшипники применяются в вертлюгах нефтедобывающей промышленности, нажимных устройствах прокатных станов и толкателях, в глобоидных редукторах, в поворотных столах металлорежущих станков, в узлах самолетов.

СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ (по ГОСТ 3189-46)

Общие положения. Условные обозначения подшипников предназначаются для: а) маркировки подшипников при их изготовлении; б) соответствующих указаний в чертежах и спецификациях; в) применения в документации заказов и поставок, учета и отчетности, использования в технической литературе.

Условными обозначениями характеризуются:

а) внутренний диаметр подшипника или втулки;

б) серия подшипника;

в) тип подшипника;

г) конструктивные особенности подшипника;

д) точность подшипника.

Обозначения всех перечисленных характеристик, кроме точности подшипника, состоят из цифр. Точность подшипника указывается буквой слева от цифрового обозначения.

Значения цифр в условном обозначении определяются занимаемыми ими местами согласно табл. 3

3. Значение цифр в условном обозначении подшипника

Места цифр в условном обозначении (считая справа налево)	Значения цифр
1-е и 2-е	Диаметр вала (внутренний диаметр подшипника или втулки)
3-е и 7-е	Серия
4-е	Тип
5-е и 6-е	Конструктивные особенности

Примечания: 1. Внутренний диаметр и конструктивные особенности подшипника характеризуются цифрами от 0 до 99.
2. Серия и тип подшипника характеризуются цифрами от 0 до 9.
3. Нули, стоящие левее последней значащей цифры (считая справа налево), опускаются.

Обозначение внутреннего диаметра подшипника. В условном обозначении первые две цифры справа указывают диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника или диаметр вала.

Для всех подшипников с внутренним диаметром от 20 до 495 *мм*, за исключением магнетных (радиально-упорных со съемным наружным кольцом), размер диаметра отверстия подшипника или диаметра вала определяется умножением двух первых цифр справа обозначения на 5.

Пример. Подшипник 2204, последние две цифры «04», умноженные на 5, дадут диаметр отверстия подшипника—20 *мм*, т. е. диаметр вала — 20 *мм*.

Для всех подшипников, за исключением магнетных с внутренним нормальным диаметром подшипника или втулки от 10 до 20 *мм*, размер диаметра вала обозначается следующим образом:

Номинальный диаметр вала в *мм*	Обозначение диаметра
10	00
12	01
15	02
17	03

Для подшипников с внутренним диаметром до 9 *мм* (включительно) первая цифра условного обозначения указывает фактический размер внутреннего диаметра подшипника (вала) в миллиметрах, при этом на третьем месте справа ставится цифра «0».

Пример. 1025—шарикоподшипник радиальный двурядный сферический легкой серии с внутренним диаметром 5 *мм*.

Размер внутреннего диаметра подшипника, выраженный не целым числом или же целым числом, но не кратным пяти, обозначается целым приближенным частным от деления размера диаметра вала на 5, причем в условное обозначение таких подшипников входит цифра «9» на третьем месте.

Примеры. 904—шарикоподшипник радиальный однорядный с внутренним диаметром 7/8″ (22,225 *мм*). 2910—роликоподшипник радиальный без бортов на наружном кольце с внутренним диаметром 48 *мм*.

Подшипники с внутренним диаметром более 495 *мм* обозначаются дробью, знаменатель которой указывает действительный размер внутреннего диаметра подшипника, а числитель — тип, конструктивные особенности и серию в установленном для всех подшипников порядке (см. табл. 3).

Пример. 70071/750—конический роликоподшипник особолегкой узкой серии с внутренним диаметром 750 *мм*.

Обозначение серии подшипника. Третья цифра справа совместно с седьмой цифрой указывает серию подшипника всех диаметров, кроме малых (до 9 *мм* включительно) согласно табл. 4.

Серия подшипников с внутренним диаметром до 9 *мм* включительно обозначается цифрой «1», «2», «3», «8» или «9» на втором месте, соответственно обозначению серий диаметров согласно табл. 4.

Пример. 37—радиальный однорядный шарикоподшипник средней серии с внутренним диаметром 7 *мм*.

Подшипники нестандартные по наружному диаметру или ширине (т. е. неопределенных серий) обозначаются цифрой «7» или «8» на третьем месте.

Подшипники неопределенных серий с внутренним диаметром до 10 *мм* обозначаются цифрой «6» или «7» на втором месте и цифрой «0» на третьем месте.

Пример. 68—радиальный однорядный шарикоподшипник неопределенной серии с внутренним диаметром 8 *мм*.

Обозначение типа подшипника. Тип подшипника указывается в условном обозначении четвертой цифрой справа согласно табл. 5.

4. Обозначение серий

| Серии | | Сверх легкие | | | | Особо легкие | | | |

5. Обозначение типа подшипника

Четвертая цифра справа	Наименование типа подшипника
0	Радиальный шариковый
1	Радиальный шариковый сферический
2	Радиальный с короткими цилиндрическими роликами
3	Радиальный роликовый сферический
4	Радиальный роликовый с длинными цилиндрическими роликами или игольчатый
5	Радиальный роликовый с витыми роликами
6	Радиально-упорный шариковый
7	Роликовый конический
8	Упорный шариковый
9	Упорный роликовый

Обозначение конструктивных особенностей подшипника. Конструктивные особенности подшипника указываются в условном обозначении цифрой на пятом месте справа или двумя цифрами на пятом и шестом месте.

Пример. 50210—радиальный однорядный шарикоподшипник легкой серии с канавкой под стопорную шайбу на наружном кольце.

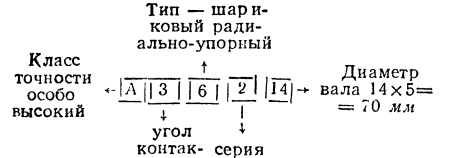
Обозначение класса точности подшипника. Класс точности подшипника указывается в условном обозначении одной или двумя буквами впереди номера условного обозначения подшипника согласно табл. 6.

6. Обозначение класса точности подшипника

Класс точности	Обозначение	Характеристика точности изготовления колец	
		внутреннего	наружного
Повышенный . . .	П	П	П
Промежуточный .	ВП	В	П
Высокий	В	В	В
Промежуточный .	АВ	А	В
Особо высокий . .	А	А	А
Промежуточный . .	СА	С	А
Сверхвысокий . . .	С	С	С

Примечание. Подшипники нормальной точности буквой не клеймятся.

Пример. А 36214 — подшипник 36214 класса точности А.



Дополнительные знаки к условному обозначению шарико- и роликоподшипников. В необходимых случаях к условному обозначению шарико- и роликоподшипников по ГОСТ 3189-46 добавляются дополнительные знаки. Эти знаки характеризуют изменение материала деталей подшипников, изменение конструкции и специальные технические требования, предъявляемые к подшипникам.

Знаки ставятся слева и справа от основного обозначения подшипника по ГОСТ 3189-46.

Знаки, расположенные слева от обозначения подшипника, обозначают, что подшипник изготовлен по специальным требованиям к радиальным зазорам или к моменту трения.

Радиальный зазор условно обозначается цифрой (номером ряда), проставляемой перед обозначением класса точности подшипника, причем подшипники, изготовленные с радиальным зазором, соответствующим основному ряду, дополнительных обозначений не имеют. Если подшипник нормального класса точности изготовлен с радиальным зазором не по основному ряду, то буква «Н» в условном обозначении сохраняется.

Пример. 3Н2210—характеризует роликовый подшипник типоразмера 2210 класса точности «Н» с радиальным зазором по третьему ряду (наименьший 60, наибольший 95 *мк*.

Особые требования к моменту трения условно обозначаются цифрой (номером ряда), проставляемой на втором месте слева от обозначения класса точности подшипника.

Пример. 12А25—радиальный однорядный шарикоподшипник типоразмера 25, класса точности «А», с радиальным зазором по второму ряду, с моментом трения по первому ряду (не более 1 *гсм* при контроле на приборе ДШП-2).

Примечание. Для подшипников, изготовленных с радиальным зазором по основному ряду, и для радиально-упорных шарикоподшипников на первом месте слева от обозначения классов точности проставляется буква «М». Например, 1МА25 — это подшипник такой же, как в предыдущем примере, но с радиальным зазором по основному ряду.

Знаки, проставляемые правее от условного обозначения по ГОСТ 3189-46, имеют значения, указанные в табл. 7.

7. Значение дополнительных знаков

Отличительные признаки	Дополнительные знаки
Все детали подшипника или часть деталей из нержавеющей стали	Ю
Кольца и тела качения или только кольца из цементируемой стали	Х
Детали подшипников из теплостойкой стали	Р
Сепаратор массивный из черных металлов	І
Сепаратор из безоловянистой бронзы	Б
Сепаратор из алюминиевого сплава	Д
Сепаратор из латуни	Л
Сепаратор из пластических материалов (текстолита и др.)	Е
Кольца, тела качения из редко применяемых материалов (стекло, керамика, пластмассы и т. д.)	Я
Конструктивные изменения деталей подшипников	К
Специальные требования к подшипнику по шуму	Ш
Дополнительные технические требования к чистоте обработки поверхностей деталей, к радиальному зазору (если он не по нормали), к осевой игре и т. д. Покрытия — свинцевание, анодирование, кадмирование и т. п.	У
Подшипники закрытого типа при заполнении специальной смазкой	С
Специальные требования к температуре отпуска деталей, твердости и механическим свойствам	Т
Детали подшипников из стали ШХ со специальными присадками (ванадий, кобальт и др.)	Э

При наличии нескольких признаков, отличающих данный подшипник от основной конструкции и требующих обозначения дополнительными знаками, последние назначаются по основному (доминирующему) признаку. Остальные признаки обозначаются в виде порядкового номера при знаке основного (доминирующего) признака.

Признаки по своей значимости располагаются в следующем порядке:

1. Изменение металла колец и тел качения (знаки Ю, Х, Р, Я).
2. Изменение материала сепаратора (знаки Г, Б, Д, Л, Е).
3. Изменение конструкции и размеров деталей (знак К).
4. Специальные технические требования (знак У).

Каждый предыдущий признак является доминирующим по отношению к последующему.

Условные знаки табл. 7 не распространяются на подшипники, отличительные признаки которых составляют особенность основной конструкции.

Примеры обозначения:

305Ю — шарикоподшипник типоразмера 305, детали которого изготовлены из нержавеющей стали.

305Ю1 — шарикоподшипник типоразмера 305, у которого детали изготовлены из нержавеющей стали и имеется какое-то отличие от основной конструкции: конструктивное изменение деталей или дополнительное техническое требование, что условно обозначается цифрой «1». Если в подшипник будет внесено следующее конструктивное изменение, оно будет обозначено цифрой 2 и т. д. в хронологическом порядке.

Обозначение миниатюрных подшипников. Миниатюрные подшипники, т. е. радиальные и радиально-упорные шарикоподшипники с наружным диаметром до 6 *мм* с одним наружным кольцом, обозначаются буквой Э слева перед условным обозначением подшипника. Наружный диаметр этих подшипников обозначается двумя цифрами, проставляемыми справа и соответствующими увеличенному в 10 раз значению наружного диаметра в *мм*. Тип подшипника указывается третьей цифрой справа.

Пример. Э625—подшипник миниатюрный радиально-упорный шариковый с наружным диаметром 2,5 *мм*.

НОРМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ И ИХ ДЕТАЛЕЙ

Габаритные размеры шарико- и роликоподшипников стандартизованы ГОСТ 3478-54.

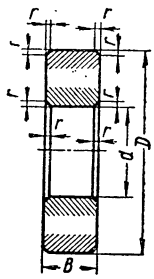
Эти размеры полностью соответствуют международному стандарту «Генеральный план размеров шарико- и роликоподшипников», принятому международной организацией по стандартизации (ISO ТК4) в 1955 г.

Нормальные габариты предусмотрены для следующих подшипников:

а) радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников (кроме конических), торцы наружных и внутренних колец которых лежат в одной плоскости (размеры даны в табл. 8);

б) конических однорядных роликоподшипников (размеры даны в табл. 9);

в) одинарных и двойных упорных шарико- и роликоподшипников (размеры даны в табл. 10).



8. Нормальные габаритные размеры радиальных и радиально-упорных подшипников (кроме конических) в *мм*

(по ГОСТ 3478-54)

Сверхлегкие серии																					Особо легкие серии										
Серия диаметров 8											Серия диаметров 9										Серия диаметров 1										
		Серии ширин							Координаты фасок для серий				Серии ширин							Координаты фасок для серий			Серии ширин							Координаты фасок для серий	
		Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие								Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие							Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие					
d	D	7	1	2	3	4	5	6	7	1—6	d	D	7	1	2	3	4	5	6	7	1—6	d	D	7	0	2	3	4	5	6	7	0—6
		Ширина B							r				Ширина B							r				Ширина B							r	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4	—	1,6	—	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	6	—	2,3	—	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	7	—	2	2,5	—	—	—	—	—	0,2	3	8	—	3	—	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	9	—	2,5	3	—	—	—	—	—	0,2	4	11	—	4	—	6	—	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	11	—	3	3,5	—	—	—	—	—	0,3	5	13	—	4	—	6	—	—	—	—	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	13	—	3,5	4	6	—	—	—	—	0,3	6	15	—	5	—	7	—	—	—	—	0,4	6	17	—	6	—	9	—	—	—	—	0,5
7	14	—	3,5	4	6	—	—	—	—	0,3	7	17	—	5	—	7	—	—	—	—	0,5	7	19	—	6	—	10	—	—	—	—	0,5
8	16	—	4	5	6	—	—	—	—	0,4	8	19	—	6	—	9	—	—	—	—	0,5	8	22	—	7	9	11	14	19	25	—	0,5
9	17	—	4	5	6	—	—	—	—	0,4	9	20	—	6	—	9	—	—	—	—	0,5	9	24	—	7	10	12	15	20	27	—	0,5
10	19	—	5	6	7	—	—	—	—	0,5	10	22	—	6	—	10	—	16	22	—	0,5	10	26	—	8	10	12	16	21	29	—	0,5
12	21	—	5	6	7	—	—	—	—	0,5	12	24	—	6	—	10	—	16	22	—	0,5	12	28	7	8	10	12	16	21	29	0,5	0,5
15	24	—	5	6	7	—	—	—	—	0,5	15	28	—	7	—	10	13	18	23	—	0,5	15	32	8	9	11	13	17	23	30	0,5	0,5
17	26	—	5	6	7	—	—	—	—	0,5	17	30	—	7	—	10	13	18	23	—	0,5	17	35	8	10	12	14	18	24	32	0,5	0,5
20	32	4	7	8	10	—	16	22	0,5	0,5	20	37	7	9	11	13	17	23	30	0,5	0,5	20	42	8	12	14	16	22	30	40	0,5	1
25	37	4	7	8	10	—	16	22	0,5	0,5	25	42	7	9	11	13	17	23	30	0,5	0,5	25	47	8	12	14	16	22	30	40	0,5	1
30	42	4	7	8	10	—	16	22	0,5	0,5	30	47	7	9	11	13	17	23	30	0,5	0,5	30	55	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
53	47	4	7	8	10	—	16	22	0,5	0,5	35	55	7	10	13	15	20	27	36	0,5	1	35	62	9	14	17	20	27	36	48	0,5	1,5
40	52	4	7	8	10	—	16	22	0,5	0,5	40	62	8	12	14	16	22	30	40	0,5	1	40	68	9	15	18	21	28	38	50	0,5	1,5

Сверхлегкие серии

Серия диаметров 8

d	D	Серии ширин: Узкая 7	Нормальная 1	Широкая 2	Особо широкие 3	4	5	6	Координаты фасок для серий: 7	1—6
		Ширина B							r	
45	58	4	7	8	10	13	18	23	0,5	0,5
50	65	5	7	10	12	15	20	27	0,5	0,5
55	72	7	9	11	13	17	23	30	0,5	0,5
60	78	7	10	12	14	18	24	32	0,5	0,5
65	85	7	10	13	15	20	27	33	0,5	1
70	90	8	10	13	15	20	27	36	0,5	1
75	95	8	10	13	15	20	27	36	0,5	1
80	100	8	10	13	15	20	27	36	0,5	1
85	110	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
90	115	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
95	120	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
100	125	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
105	130	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
110	140	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
120	150	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
130	165	11	18	22	26	35	45	63	1	2
140	175	11	18	22	26	35	46	63	1	2
150	190	13	20	24	30	40	54	71	1	2
160	200	13	20	24	30	40	54	71	1	2
170	215	14	22	27	34	45	60	80	1	2
180	225	14	22	27	34	45	60	80	1	2
190	240	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
200	250	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
220	270	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
240	300	19	28	36	45	60	80	109	1,5	3
260	320	19	28	36	45	60	80	109	1,5	3
280	350	22	33	42	52	69	95	125	2	3
300	380	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
320	400	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
340	420	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5

Серия диаметров 9

d	D	Серии ширин: Узкая 7	Нормальная 1	Широкая 2	Особо широкие 3	4	5	6	Координаты фасок для серий: 7	1—6
		Ширина B							r	
45	68	8	12	14	16	22	30	40	0,5	1
50	72	8	12	14	16	22	30	40	0,5	1
55	80	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
60	85	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
65	90	9	13	16	19	25	34	45	0,5	1,5
70	100	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
75	105	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
80	110	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
85	120	11	18	22	26	35	46	63	1	2
90	125	11	18	22	26	35	46	63	1	2
95	130	11	18	22	26	35	46	63	1	2
100	140	13	20	24	30	40	54	71	1	2
105	145	13	20	24	30	40	54	71	1	2
110	150	13	20	24	30	40	54	71	1	2
120	165	14	22	27	34	45	60	80	1	2
130	180	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
140	190	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
150	210	19	28	36	45	60	80	109	1,5	3
160	220	19	28	36	45	60	80	109	1,5	3
170	230	19	28	36	45	60	80	109	1,5	3
180	250	22	33	42	52	69	95	125	2	3
190	260	22	33	42	52	69	95	125	2	3
200	280	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
220	300	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
240	320	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
260	360	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
280	380	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
300	420	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
320	440	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
340	460	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4

Особо легкие серии

Серия диаметров 1

d	D	Серии ширин: Узкая 7	Нормальная 0	Широкая 2	Особо широкие 3	4	5	6	Координаты фасок для серий: 7	0—6
		Ширина B							r	
45	75	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
50	80	10	16	19	23	30	40	54	1	1,5
55	90	11	18	22	26	35	46	63	1	2
60	95	11	18	22	26	35	46	63	1	2
65	100	11	18	22	26	35	46	63	1	2
70	110	13	20	24	30	40	54	71	1	2
75	115	13	20	24	30	40	54	71	1	2
80	125	14	22	27	34	45	60	80	1	2
85	130	14	22	27	34	45	60	80	1	2
90	140	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
95	145	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
100	150	16	24	30	37	50	67	90	1,5	2,5
105	160	18	26	33	41	56	75	100	1,5	3
110	170	19	28	36	45	60	80	109	1,5	3
120	180	19	28	36	46	60	80	109	1,5	3
130	200	22	33	42	52	69	95	125	2	3
140	210	22	33	42	53	69	95	125	2	3
150	225	24	35	45	56	75	100	136	2	3,5
160	240	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
170	260	28	42	54	67	90	122	160	2,5	3,5
180	280	31	46	60	74	100	136	180	3	3,5
190	290	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
200	310	34	51	66	82	109	150	200	3	3,5
220	340	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
240	360	37	56	72	92	118	160	218	3,5	4
260	400	44	65	82	104	140	190	250	4	5
280	420	44	65	82	106	140	190	250	4	5
300	460	50	74	95	118	160	218	290	5	5
320	480	50	74	95	121	160	218	290	5	5
340	520	57	82	106	133	180	243	325	5	6

Продолжение табл. 8

Сверхлегкие серии

Серия диаметров 8

d	D	Серии ширин: Узкая 7	Нормальная 1	Широкая 2	Особо широкие 3	4	5	6	Координаты фасок для серий: 7	1—6
		Ширина B							r	
360	440	25	38	48	60	80	109	145	2,5	3,5
380	480	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
400	500	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
420	520	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
440	540	31	46	60	75	100	136	180	3	3,5
460	580	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
480	600	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
500	620	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
530	650	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
560	680	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
600	730	42	60	78	98	128	175	236	4	4
630	780	48	69	88	112	150	200	272	4	5
670	820	48	69	88	112	150	200	272	4	5
710	870	50	74	95	118	160	218	290	5	5
750	920	54	78	100	128	170	230	308	5	6
800	980	57	82	106	136	180	243	325	5	6
850	1030	57	82	106	136	180	243	325	5	6
900	1090	60	85	112	140	190	258	345	6	6
950	1150	63	90	118	150	200	272	355	6	6
1000	1220	71	100	128	165	218	300	400	6	8
1060	1280	71	100	128	165	218	300	400	6	8
1120	1360	78	106	140	180	243	325	438	6	8
1180	1420	78	106	140	180	243	325	438	6	8
1250	1500	80	112	145	185	250	335	450	8	8
1320	1600	88	122	165	206	280	375	500	8	8
1400	1700	95	132	175	224	300	400	545	8	10
1500	1820	—	140	185	243	315	—	—	8	10
1600	1950	—	155	200	265	345	—	—	10	10
1700	2060	—	160	206	272	355	—	—	10	10
1800	2180	—	165	218	290	375	—	—	10	12
1900	2300	—	175	220	300	400	—	—	10	12
2000	2430	—	190	250	325	425	—	—	12	12

Серия диаметров 9

d	D	Серии ширин: Узкая 7	Нормальная 1	Широкая 2	Особо широкие 3	4	5	6	Координаты фасок для серий: 7	1—6
		Ширина B							r	
360	480	37	56	72	90	118	160	218	3,5	4
380	520	44	65	82	106	140	190	250	4	5
400	540	44	65	82	106	140	190	250	4	5
420	560	44	65	82	106	140	190	250	4	5
440	600	50	74	95	118	160	218	290	5	5
460	620	50	74	95	118	160	218	290	5	5
480	650	54	78	100	128	170	230	308	5	6
500	670	54	78	100	128	170	230	308	5	6
530	710	57	82	106	136	180	243	325	5	6
560	750	60	85	112	140	190	258	345	6	6
600	800	63	90	118	150	200	272	355	6	6
630	850	71	100	128	165	218	300	400	6	8
670	900	73	103	136	170	230	308	412	6	8
710	950	78	106	140	180	243	325	438	6	8
750	1000	80	112	145	185	250	335	450	8	8
800	1060	82	115	150	195	258	355	462	8	8
850	1120	85	118	155	200	272	365	488	8	8
900	1180	88	122	165	206	280	375	500	8	8
950	1250	95	132	175	224	300	400	545	8	10
1000	1320	103	140	185	236	315	438	580	8	10
1060	1400	109	150	195	250	335	462	615	10	10
1120	1460	109	150	195	250	335	462	615	10	10
1180	1540	115	160	206	272	355	488	650	10	10
1250	1630	122	170	218	280	375	515	690	10	10
1320	1720	128	175	230	300	400	545	710	10	10
1400	1820	—	185	243	315	425	—	—	12	12
1500	1950	—	195	258	335	450	—	—	12	12
1600	2060	—	200	265	345	462	—	—	12	12
1700	2180	—	212	280	355	475	—	—	12	12
1800	2300	—	218	290	375	500	—	—	15	15
1900	2430	—	230	380	400	530	—	—	15	15
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Особо легкие серии

Серия диаметров 1

d	D	Серии ширин: Узкая 7	Нормальная 0	Широкая 2	Особо широкие 3	4	5	6	Координаты фасок для серий: 7	0—6
		Ширина B							r	
360	540	57	82	106	134	180	243	325	5	6
380	560	57	82	106	135	180	243	325	5	6
400	600	63	90	118	148	200	272	355	6	6
420	620	63	90	118	150	200	272	355	6	6
440	650	67	94	122	157	212	280	375	6	8
460	680	71	100	128	163	218	300	400	6	8
480	700	71	100	128	165	218	300	400	6	8
500	720	71	100	128	167	218	300	400	6	8
530	780	80	112	145	185	250	335	450	8	8
560	820	82	115	150	195	258	355	462	8	8
600	870	85	118	155	200	272	365	488	8	8
630	920	92	128	170	212	290	388	515	8	10
670	980	100	136	180	230	308	425	560	8	10
710	1030	103	140	185	236	315	438	580	8	10
750	1090	109	150	195	250	335	462	615	10	10
800	1150	112	155	200	258	345	475	630	10	10
850	1220	118	165	212	272	365	500	670	10	10
900	1280	122	170	218	280	375	515	690	10	10
950	1360	132	180	236	300	412	560	730	10	10
1000	1420	136	185	243	308	412	560	750	10	10
1060	1500	140	195	250	325	438	600	800	12	12
1120	1580	145	200	265	345	462	615	825	12	12
1180	1660	155	212	272	355	475	650	875	12	12
1250	1750	—	218	290	375	500	—	—	12	12
1320	1850	—	230	300	400	530	—	—	15	15
1400	1950	—	243	315	412	545	—	—	15	15
1500	2120	—	272	355	462	615	—	—	15	15
1600	2240	—	280	365	475	630	—	—	15	15
1700	2360	—	290	375	500	650	—	—	18	18
1800	2500	—	308	400	530	690	—	—	18	18
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 8

Особо легкие серии									Легкие серии									Средние серии									Тяжелые серии				
Серия диаметров 7									Серия диаметров 2(5)*									Серии диаметров 3(6)*									Серия диаметров 4				
		Серии ширин					Координаты фасок для серий				Серии ширин						Координаты фасок для серий			Серии ширин					Координаты фасок для серий			Серии ширин		Координаты фасок
d	D	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие				d	D	Особо узкая	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие			d	D	Особо узкая	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкая			d	D	Узкая	Широкая	
		7	1	2	3	4	7	1—4			8	0	1	(0)*	3	4	8	0—4		8	0	1	(0)*	3	8	0—3			0	2	
		Ширина B					r				Ширина B						r			Ширина B					r				Ширина B		r
—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	10	2,5	4	—	—	—	—	0,2	0,3	3	13	—	5	—	—	7	—	0,5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	13	3	5	—	—	—	—	0,3	0,4	4	16	—	5	—	—	10	—	0,5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	16	3,5	5	—	—	—	—	0,3	0,5	5	19	—	6	—	—	11	—	0,5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	19	4	6	—	—	—	—	0,4	0,5	6	22	—	7	—	11	13	—	0,5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	22	5	7	—	—	—	—	0,5	0,5	7	26	—	9	—	13	15	—	0,5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	24	5	7	—	—	—	—	0,5	0,5	8	28	—	9	—	13	15	—	0,5	8	30	10	14	1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	26	6	8	—	—	—	—	0,5	1	9	30	—	10	—	14	16	—	1	9	32	11	15	1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	30	7	9	—	14	—	—	0,5	1	10	35	9	11	—	17	19	0,5	1	10	37	12	16	1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	32	7	10	—	14	15,9	—	0,5	1	12	37	9	12	—	17	19	0,5	1,5	12	42	13	19	1,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	35	8	11	—	14	15,9	20	0,5	1	15	42	9	13	—	17	19	0,5	1,5	15	52	15	24	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	40	8	12	—	16	17,5	22	0,5	1	17	47	10	14	—	19	22,2	1	1,5	17	62	17	29	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	47	9	14	—	18	20,6	27	0,5	1,5	20	52	10	15	—	21	22,2	1	2	20	72	19	33	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	50	9	14	—	18	20,6	27	0,5	1,5	22	56	11	16	—	21	25	1	2	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	52	10	15	—	18	20,6	27	0,5	1,5	25	62	12	17	—	24	25,4	1	2	25	80	21	36	2,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	58	10	16	—	19	23	30	1	1,5	28	68	13	18	—	24	30	1	2	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	62	10	16	—	20	23,8	32	1	1,5	30	72	13	19	—	27	30,2	1	2	30	90	23	40	2,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	32	65	11	17	—	21	25	33	1	1,5	32	75	14	20	—	28	32	1	2	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	72	12	17	—	23	27	37	1	2	35	80	14	21	—	31	34,9	1	2,5	35	100	25	43	2,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	80	13	18	—	23	30,2	40	1	2	40	90	16	23	—	33	36,5	1,5	2,5	40	110	27	46	3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	45	85	13	19	—	23	30,2	40	1	2	45	100	17	25	—	36	39,7	1,5	2,5	45	120	29	50	3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	90	14	20	—	23	30,2	40	1	2	50	110	19	27	—	40	44,4	1,5	3	50	130	31	53	3,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	55	100	14	21	—	25	33,3	45	1	2,5	55	120	21	29	—	43	49,2	2	3	55	140	33	57	3,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	110	16	22	—	28	36,5	50	1,5	2,5	60	130	22	31	—	46	54	2	3,5	60	150	35	60	3,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	65	120	18	23	—	31	38,1	56	1,5	2,5	65	140	24	33	—	48	58,7	2	3,5	65	160	37	64	3,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	125	18	24	—	31	39,7	56	1,5	2,5	70	150	25	35	—	51	63,5	2,5	3,5	70	180	42	74	4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	130	18	25	—	31	41,3	56	1,5	2,5	75	160	27	37	—	55	68,3	2,5	3,5	75	190	45	77	4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	140	19	26	—	33	44,4	60	1,5	3	30	170	28	39	—	58	68,3	2,5	3,5	80	200	48	80	4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	85	150	21	28	—	36	49,2	65	2	3	85	180	30	41	—	60	73	3	4	85	210	52	86	5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	90	160	22	30	—	40	52,4	69	2	3	90	190	30	43	—	64	73	3	4	90	225	54	90	5

Продолжение табл. 8

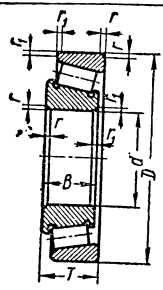
Особо легкие серии									Легкие серии									Средние серии									Тяжелые серии				
Серия диаметров 7									Серия диаметров 2(5)*									Серии диаметров 3(6) *									Серия диаметров 4				
d	D	Серии ширин					Координаты фасок для серий		d	D	Серии ширин					Координаты фасок для серий		d	D	Серии ширин				Координаты фасок для серий		d	D	Серии ширин		Координаты фасок	
		Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие						Особо узкая	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие					Особо узкая	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкая				Узкая	Широкая		
		7	1	2	3	4	7	1—4			8	0	1	(0)*	3	4	8	0—4			8	0	1	(0)*	3	8	0—3		0	2		
		Ширина B					r				Ширина B						r			Ширина B					r			Ширина B		r	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	170	24	32	—	43	55,6	75	2	3,5	95	200	33	45	—	67	77,8	3	4	95	240	55	95	5
100	165	21	30	39	52	65	2	3	100	180	25	34	—	46	60,3	80	2,5	3,5	100	215	36	47	—	73	82,6	3,5	4	100	250	58	98	5
105	175	22	33	42	56	69	2	3	105	190	27	36	—	50	65,1	85	2,5	3,5	105	225	37	49	—	77	87,3	3,5	4	105	260	60	100	5
110	180	22	33	42	56	69	2	3	110	200	28	38	—	53	69,8	90	2,5	3,5	110	240	42	50	—	80	92,1	4	4	110	280	65	108	5
120	200	25	38	48	62	80	2,5	3	120	215	—	40	42	58	76	95	—	3,5	120	260	44	55	—	86	106	4	4	120	310	72	118	6
130	210	25	38	48	64	80	2,5	3	130	230	—	40	46	64	80	100	—	4	130	280	48	58	—	93	112	4	5	130	340	78	128	6
140	225	27	40	50	68	85	3	3,5	140	250	—	42	50	68	88	109	—	4	140	300	50	62	—	102	118	5	5	140	360	82	132	6
150	250	31	46	60	80	100	3	3,5	150	270	—	45	54	73	96	118	—	4	150	320	—	65	67	108	128	—	5	150	380	85	138	6
160	270	34	51	66	86	109	3	3,5	160	290	—	48	58	80	104	128	—	4	160	340	—	68	71	114	136	—	5	160	400	88	142	6
170	280	34	51	66	88	109	3,5	3,5	170	310	—	52	62	86	110	140	—	5	170	360	—	72	75	120	140	—	5	170	420	92	145	6
180	300	37	56	72	96	118		4	180	320	—	52	62	86	112	140	—	5	180	380	—	75	79	126	150	—	5	180	440	95	150	8
190	320	42	60	78	104	128	4	4	190	340	—	55	65	92	120	150	—	5	190	400	—	78	83	132	155	—	6	190	460	98	155	8
200	340	44	65	82	112	140	4	4	200	360	—	58	70	98	128	160	—	5	200	420	—	80	87	138	165	—	6	200	480	102	160	8
220	370	48	69	88	120	150	5	5	220	400	—	65	78	108	144	180	—	5	220	460	—	88	99	145	180	—	6	220	540	115	180	8
240	400	50	74	95	128	160	5	5	240	440	—	72	85	120	160	200	—	5	240	500	—	95	111	155	195	—	6	240	580	122	190	8
260	440	57	82	106	144	180	5	5	260	480	—	80	90	120	174	218	—	6	260	540	—	102	120	165	206	—	8	260	620	132	206	10
280	460	57	82	106	146	180	6	6	280	500	—	80	90	130	176	218	—	6	280	580	—	107	128	175	224	—	8	280	670	140	224	10
300	500	63	90	118	160	200	6	6	300	540	—	85	98	140	192	243	—	6	300	620	—	109	140	185	236	—	10	300	710	150	236	10
320	540	71	100	128	176	218	6	6	320	580	—	92	105	150	208	258	—	6	320	670	—	112	155	200	258	—	10	320	750	155	250	12
340	580	78	106	140	190	243	6	6	340	620	—	92	118	165	224	280	—	8	340	710	—	118	165	212	272	—	10	340	800	165	265	12
360	600	78	106	140	192	243		6	360	650	—	95	122	170	232	290	—	8	360	750	—	125	170	224	290	—	10	360	850	180	280	12
380	620	78	106	140	194	243	6 8	6	380	680	—	95	132	175	240	300	—	8	380	780	—	128	175	230	300	—	10	380	900	190	300	12
400	650	80	112	145	200	250	8	8	400	720	—	103	140	185	256	315	—	8	400	820	—	136	185	243	308	—	10	400	950	200	315	15
420	700	88	122	165	224	280	8	8	420	760	—	109	150	195	272	335	—	10	420	850	—	136	190	250	315	—	12	420	980	206	325	15
440	720	88	122	165	226	280	8	8	440	790	—	112	155	200	280	345	—	10	440	900	—	145	200	265	345	—	12	440	1030	212	335	15
460	760	95	132	175	240	300	8	10	460	830	—	118	165	212	296	365	—	10	460	950	—	155	212	280	365	—	12	460	1060	218	345	15
480	790	100	136	180	248	308	10	10	480	870	—	125	170	224	310	388	—	10	480	980	—	160	218	290	375	—	12	480	1120	230	365	18
500	830	106	145	190	264	325	10	10	500	920	—	136	185	243	336	412	—	10	500	1030	—	170	230	300	388	—	15	500	1150	236	375	18
530	870	109	150	195	272	335	10	10	530	980	—	145	200	258	355	450	—	12	530	1090	—	180	243	325	412	—	15	530	1220	250	400	18
560	920	115	160	206	280	355	10	10	560	1030	—	150	206	272	365	475	—	12	560	1150	—	190	258	33 5	438	—	15	560	1280	258	412	18

Продолжение табл. 8

Особо легкие серии								Легкие серии								Средние серии								Тяжелые серии				
Серия диаметров 7								Серия диаметров 2(5)*								Серии диаметров 3(6)*								Серия диаметров 4				
		Серии ширин				Координаты фасок для серий				Серии ширин					Координаты фасок для серий			Серии ширин					Координаты фасок для серий			Серии ширин		
d	D	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие			d	D	Особо узкая	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкие		d	D	Особо узкая	Узкая	Нормальная	Широкая	Особо широкая		d	D	Узкая	Широкая	
		7	1	2	3	4	7 | 1—4			8	0	1	(0)*	3	4	8 | 0—4		8	0	1	(0)*	3	8 | 0—3			0	2	
		Ширина B					r			Ширина B						r		Ширина B					r			Ширина B		r
600	980	122	170	218	300	375	10 | 10	600	1090	—	155	212	280	388	488	— | 12	600	1220	—	200	272	355	462	— | 18	600	1360	272	438	18
630	1030	128	175	230	315	400	10 | 10	630	1150	—	165	230	300	412	515	— | 15	630	1280	—	206	280	375	488	— | 18	630	1420	280	450	18
670	1090	136	185	243	336	412	10 | 10	670	1220	—	175	243	315	438	545	— | 15	670	1360	—	218	300	400	515	— | 18	670	1500	290	475	18
710	1150	140	195	250	345	438	12 | 12	710	1280	—	180	250	325	450	560	— | 15	710	1420	—	224	308	412	530	— | 18	—	—	—	—	—
750	1220	150	206	272	365	475	12 | 12	750	1360	—	195	265	345	475	615	— | 18	750	1500	—	236	325	438	560	— | 18	—	—	—	—	—
800	1280	155	212	272	375	475	12 | 12	800	1420	—	200	272	355	488	615	— | 18	800	1600	—	258	355	462	600	— | 18	—	—	—	—	—
850	1360	165	224	290	400	500	15 | 15	850	1500	—	206	280	375	515	650	— | 18	850	1700	—	272	375	488	630	— | 22	—	—	—	—	—
900	1420	165	230	300	412	515	15 | 15	900	1580	—	218	300	388	515	670	— | 18	900	1780	—	280	388	500	650	— | 22	—	—	—	—	—
950	1500	175	243	315	438	545	15 | 15	950	1660	—	230	315	412	530	710	— | 18	950	1850	—	290	400	515	670	— | 22	—	—	—	—	—
1000	1580	185	258	335	462	580	15 | 15	1000	1750	—	243	330	425	560	750	— | 18	1000	1950	—	300	412	545	710	— | 22	—	—	—	—	—
1060	1660	190	265	345	475	600	15 | 15	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—
1120	1750	—	280	365	475	630	18 | 18	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—
1180	1850	—	290	388	500	670	18 | 18	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—
1250	1950	—	308	400	530	710	18 | 18	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—
1320	2060	—	325	425	560	750	18 | 18	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—
1400	2180	—	345	450	580	775	22 | 22	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—
1500	2300	—	355	462	600	800	22 | 22	—	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—	—	—	— | —	—	—	—	—	—

* Цифры (5), (0) и (6), обозначают соответственно легкую широкую и среднюю широкую серии.

9. Нормальные габаритные размеры конических роликоподшипников



Сверхлегкие серии							Особо легкие серии							Легкие серии									Средние серии								
Серия диаметров 9							Серия диаметров 1							Серия диаметров 2 (5)*									Серии диаметров 3 (6)*								
d	D	Широкая серия 2			Координаты фасок		d	D	Широкая серия 2			Координаты фасок		d	D	Узкая серия 0			Широкая серия (0)*			Координаты фасок		d	D	Узкая серия 0			Широкая серия (0)*			Координаты фасок	
		B	T		r	r_1			B	T		r	r_1			B	T		B	T		r	r_1			B	T		B	T		r	r_1
			наиб.	наим.						наиб.	наим.						наиб.	наим.		наиб.	наим.						наиб.	наим.		наиб.	наим.		
—	—	—	—	—	—	—	15	32	11	11,8	11,4	0,5	0,2	15	35	11	12	11,5	14	15	14,5	1	0,3	15	42	13	14,5	14	17	18,5	18	1,5	0,5
—	—	—	—	—	—	—	17	35	12	12,8	12,4	0,5	0,2	17	40	12	13,5	13	16	17,5	17	1,5	0,5	17	47	14	15,5	15	19	20,5	20	1,5	0,5
20	37	11	11,8	11,4	0,5	0,2	20	42	14	15	14,6	1	0,3	20	47	14	15,5	15	18	19,5	19	1,5	0,5	20	52	16	16,5	16	21	22,5	22	2	0,8
22	39	11	11,8	11,4	0,5	0,2	22	44	14	15	14,6	1	0,3	22	50	14	15,5	15	18	19,5	19	1,5	0,5	22	56	16	17,5	17	21	22,5	22	2	0,8
25	42	11	11,8	11,4	0,5	0,2	25	47	14	15	14,6	1	0,3	25	52	15	16,5	16	18	19,5	19	1,5	0,5	25	62	17	18,5	18	24	25,5	25	2	0,8
28	45	11	11,8	11,4	0,5	0,2	28	52	15	16	15,6	1,5	0,5	28	58	16	17,5	17	19	20,5	20	1,5	0,5	28	68	18	20	19,5	24	26	25,5	2	0,8
30	47	11	11,8	11,4	0,5	0,2	30	55	16	17,2	16,8	1,5	0,5	30	62	16	17,5	17	20,5	21,5	21	1,5	0,5	30	72	19	21	20,5	29	29	28,5	2	0,8
32	52	13	13,9	13,5	1	0,3	32	58	16	17,2	16,8	1,5	0,5	32	65	17	18,5	18	21	22,5	22	1,5	0,5	32	75	20	22	21,5	28	30	29,5	2	0,8
35	55	13	14,2	13,8	1	0,3	35	62	17	18,2	17,8	1,5	0,5	35	72	17	18,5	18	23	24,5	24	2	0,8	35	80	21	23	22,5	31	33	32,5	2,5	0,8
40	62	14	15,2	14,8	1	0,3	40	68	18	19,2	18,8	1,5	0,5	40	80	20	20	19,5	23,5	25	24,5	2	0,8	40	90	23	25,5	25	33	35,5	35	2,5	0,8
45	68	14	15,2	14,8	1	0,3	45	75	19	20,2	19,8	1,5	0,5	45	85	19	21	20,5	23,5	25	24,5	2	0,8	45	100	26	27,5	27	36	38,5	38	2,5	0,8
50	72	14	15,2	14,8	1	0,3	50	80	19	20,2	19,8	1,5	0,5	50	90	21	22	21,5	23,5	25	24,5	2	0,8	50	110	29	29,5	29	40	42,5	42	3	1
55	80	16	17,3	16,7	1,5	0,5	55	90	22	23,3	22,7	2	0,8	55	100	21	23	22,5	25	27	26,5	2,5	0,8	55	120	29	32	31	44,5	46	45	3	1
60	85	16	17,3	16,7	1,5	0,5	60	95	22	23,3	22,7	2	0,8	60	110	23	24	23,5	28	30	29,5	2,5	0,8	60	130	31	34	33	47,5	49	48	3,5	1,2
65	90	16	17,3	16,7	1,5	0,5	65	100	22	23,3	22,7	2	0,8	65	120	23	25	24,5	31	33	32,5	2,5	0,8	65	140	33	36,5	35,5	48	51,5	50,5	3,5	1,2
70	100	19	20,3	19,7	1,5	0,5	70	110	24	25,3	24,7	2	0,8	70	125	26	26,5	26	31	33,5	33	2,5	0,8	70	150	37	38,5	37,5	51	54,5	53,5	3,5	1,2
75	105	19	20,3	19,7	1,5	0,5	75	115	24	25,3	24,7	2	0,8	75	130	26	27,5	27	31	33,5	33	2,5	0,8	75	160	37	40,5	39,5	55	58,5	57,5	3,5	1,2
80	110	19	20,3	19,7	1,5	0,5	80	125	27	29,3	28,7	2	0,8	80	140	26	28,5	28	33	35,5	35	3	1	80	170	39	43	42	59,5	62	61	3,5	1,2
85	120	22	23,4	22,6	2,0	0,8	85	130	27	29,3	28,7	2	0,8	85	150	28	31	30	36	39	38	3	1	85	180	41	45	44	60	64	63	4	1,5

Сверхлегкие серии							Особо легкие серии							Легкие серии								
Серия диаметров 9							Серия диаметров 1							Серия диаметров 2(5)*								
d	D	Широкая серия 2			Координаты фасок		d	D	Широкая серия 2			Координаты фасок		d	D	Узкая серия 0			Широкая серия (0)*			Координаты фасок	
		B	T		r	r_1			B	T		r	r_1			B	T		B	T		r	r_1
			наиб.	наим.						наиб.	наим.						наиб.	наим.		наиб.	наим.		
90	125	22	23,4	22,6	2	0,8	90	140	30	32,4	31,6	2,5	0,8	90	160	31	33	32	40	43	42	3	1
95	130	22	23,4	22,6	2	0,8	95	145	30	32,4	31,6	2,5	0,8	95	170	32	35	34	45,5	46	45	3,5	1 2
100	140	24	25,4	24,6	2	0,8	100	150	30	32,4	31,6	2,5	0,8	100	180	34	37,5	36,5	46	49,5	48,5	3,5	1,2
105	145	24	25,4	24,6	2	0,8	105	160	33	35,4	34,6	3	1	105	190	36	39,5	38,5	50	53,5	52,5	3,5	1,2
110	150	24	25,4	24,6	2	0,8	110	170	36	38,4	37,6	3	1	110	200	38	41,5	40,5	53,5	56,5	55,5	3,5	1,2
120	165	27	29,4	28,6	2	0,8	120	180	36	38,4	37,6	3	1	120	215	41	44	43	58	62	61	3,5	1,2
130	180	30	32,5	31,5	2,5	0,8	130	200	42	45,5	44,5	3	1	130	230	40	44,5	43	65	68,5	67	4	1,5
140	190	30	32,5	31,5	2,5	0,8	140	210	42	45,5	44,5	3	1	140	250	42	46,5	45	68	72,5	71	4	1,5
150	210	36	38,5	37,5	3	1	150	225	45	48,5	47,5	3,5	1,2	150	270	45	50	48	74	78	76	4	1,5
160	220	36	38,5	37,5	3	1	160	240	48	51,5	50,5	3,5	1,2	160	290	48	53	51	80	85	83	4	1,5
170	230	36	38,5	37,5	3	1	170	260	54	57,5	56,5	3,5	1,2	170	310	52	58	56	86	92	90	5	2
180	250	42	45,5	44,5	3	1	180	280	60	64,5	63,5	3,5	1,2	180	320	52	58	56	86	92	90	5	2
190	260	42	45,5	44,5	3	1	190	290	60	64,5	63,5	3,5	1,2	190	340	55	61	59	92	98	96	5	2
200	280	48	51,5	50,5	3,5	1,2	200	310	66	70,5	69,5	3,5	1,2	200	360	58	65	63	98	105	103	5	2
220	300	48	51,5	50,5	3,5	1,2	220	340	72	76,5	75,5	4	1,5	220	400	65	71	69	108	115	113	5	2
240	320	48	51,5	50,5	3,5	1,2	240	360	72	76,5	75,5	4	1,5	240	440	72	80	78	120	128	126	5	2
260	360	60	64,5	63,5	3,5	1,2	260	400	82	87,7	86,3	5	2	260	480	80	90	88	130	138	136	6	2,5
280	380	60	64,5	63,5	3,5	1,2	280	420	82	87,7	86,3	5	2	280	500	80	90	88	130	138	136	6	2,5
300	420	72	76,5	75,5	4	1,5	300	460	95	100,7	99,3	5	2	300	540	85	97	95	140	150	148	6	2,5
320	440	72	76,5	75,5	4	1,5	320	480	95	100,7	99,3	5	2	320	580	92	105	103	150	160	158	6	2,5

Примечание. Размеры *B* и *T*, указанные в таблице, относятся к однорядным подшипникам.
* Цифры (5), (0) и (6), (0) означают соответственно легкую широкую и среднюю широкую серии.

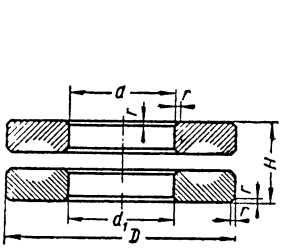
Продолжение табл. 9

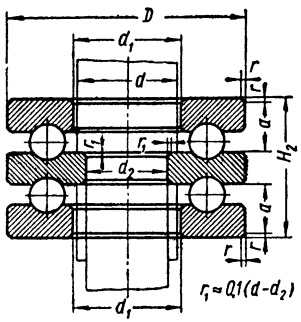
Средние серии												
Серии диаметров 3(6)*												
d	D	Узкая серия 0						Широкая серия (0)*			Координаты фасок	
		B	T		B	T		B	T		r	r_1
			наиб.	наим.		наиб.	наим.		наиб.	наим.		
90	190	43	47	46	44	49	48	66,5	68	67	4	1,5
95	200	45	50	49	46	52	51	67	72	71	4	1,5
100	215	47	52	51	51	57	56	73	78	77	4	1,5
105	225	49	54	53	—	—	—	77	82	81	4	1,5
110	240	50	55	54	57	63	62	80	85	84	4	1,5
120	260	55	60	59	62	68	67	86	91	90	4	1,5
130	280	58	64,5	63	—	—	—	93	99,5	98	5	2
140	300	62	68,5	67	70	77,5	76	102	108,5	107	5	2
150	320	65	73	71	—	—	—	108	115	113	5	2
160	340	68	76	74	79	88	86	114	122	120	5	2
170	360	72	81	79	—	—	—	120	128	126	5	2
180	380	75	84	82	88	98	96	126	135	133	5	2
190	400	78	87	85	—	—	—	132	141	139	6	2,5
200	420	80	90	88	97	108	106	138	147	145	6	2,5
220	460	88	98	96	—	—	—	145	155	153	6	2,5
240	500	95	106	104	—	—	—	155	166	164	6	2,5
260	540	102	110	108	—	—	—	165	177	175	8	3,5
280	580	108	120	118	—	—	—	175	188	186	8	3,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Размеры B и T, указанные в таблице, относятся к однорядным подшипникам.

* Цифры (5), (0) и 6, (0) означают соответственно легкую широкую и среднюю широкую серии.

10. Нормальные габаритные размеры одинарных и двойных упорных шарико- и роликоподшипников, *мм*





Особо легкие серии												Легкие серии								
Серия диаметров 9						Серия диаметров 1						Серия диаметров 2								
		Серии высот						Серии высот						Серии высот						
d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная	Координаты фасок r	d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная	Координаты фасок r	d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная				Координаты фасок r
		7	9	1				7	9	0				7	9	0				
		Высота H						Высота H						Высота						
														H		H_2	d	d_2		
4	12	4	—	6	0,5	—	—	—	—	—	—	4	16	6	—	8	—	—	—	0,5
6	16	5	—	7	0,5	—	—	—	—	—	—	6	20	6	—	9	—	—	—	0,5
8	18	5	—	7	0,5	—	—	—	—	—	—	8	22	6	—	9	—	—	—	0,5
10	20	5	—	7	0,5	10	24	6	—	9	0,5	10	26	7	—	11	—	—	—	1
12	22	5	—	7	0,5	12	26	6	—	9	0,5	12	28	7	—	11	—	—	—	1
15	26	5	—	7	0,5	15	28	6	—	9	0,5	15	32	8	—	12	22	5	10	1
17	28	5	—	7	0,5	17	30	6	—	9	0,5	17	35	8	—	12	—	—	—	1
20	32	6	—	8	0,5	20	35	7	—	10	0,5	20	40	9	—	14	26	6	15	1
25	37	6	—	8	0,5	25	42	8	—	11	1	25	47	10	—	15	28	7	20	1
30	42	6	—	8	0,5	30	47	8	—	11	1	30	52	10	—	16	28	7	25	1
35	47	6	—	8	0,5	35	52	8	—	12	1	35	62	12	—	18	34	8	30	1,5
40	52	6	—	9	0,5	40	60	9	—	13	1	40	68	13	—	19	36	9	30	1,5
45	60	7	—	10	0,5	45	65	9	—	14	1	45	73	13	—	20	37	9	35	1,5
50	65	7	—	10	0,5	50	70	9	—	14	1	50	78	13	—	22	39	9	40	1,5
55	70	7	—	10	0,5	55	78	10	—	16	1	55	90	16	21	25	45	10	45	1,5
60	75	7	—	10	0,5	60	85	11	—	17	1,5	60	95	16	21	26	46	10	50	1,5
65	80	7	—	10	0,5	65	90	11	—	18	1,5	65	100	16	21	27	47	10	55	1,5
70	85	7	—	10	0,5	70	95	11	—	18	1,5	70	105	16	21	27	47	10	55	1,5
75	90	7	—	10	0,5	75	100	11	—	19	1,5	75	110	16	21	27	47	10	60	1,5
80	95	7	—	10	0,5	80	105	11	—	19	1,5	80	115	16	21	28	48	10	65	1,5
85	100	7	—	10	0,5	85	110	11	—	19	1,5	85	125	18	24	31	55	12	70	1,5
90	105	7	—	10	0,5	90	120	14	—	22	1,5	90	135	20	27	35	62	14	75	2
100	120	9	—	14	1	100	135	16	21	25	1,5	100	150	23	30	38	67	15	85	2
110	130	9	—	14	1	110	145	16	21	25	1,5	110	160	23	30	38	67	15	95	2
120	140	9	—	14	1	120	155	16	24	25	1,5	120	170	23	30	39	68	15	100	2
130	150	9	—	14	1	130	170	18	24	30	1,5	130	190	27	36	45	80	18	110	2,5
140	160	9	—	14	1	140	180	18	24	31	1,5	140	200	27	36	46	81	18	120	2,5
150	170	9	—	14	1	150	190	18	24	31	1,5	150	215	29	39	50	89	20	130	2,5
160	180	9	—	14	1	160	200	18	24	31	1,5	160	225	29	39	51	90	20	140	2,5
170	190	9	—	14	1	170	215	20	27	34	2	170	240	32	42	55	97	21	150	2,5

Продолжение табл. 10

Особо легкие серии												Легкие серии								
Серия диаметров 9						Серия диаметров 1						Серия диаметров 2								
d	D	Серии высот: Особо низкая 7	Низкая 9	Нормальная 1	Координаты фасок r	d	D	Серии высот: Особо низкая 7	Низкая 9	Нормальная 0	Координаты фасок r	d	D	Серии высот: Особо низкая 7	Низкая 9	Нормальная 0				Координаты фасок r
		Высота H						Высота H						Высота						
														H			H_2	d	d_a	
180	200	9	—	14	1	180	225	20	27	34	2	180	250	32	42	56	98	21	150	2,5
190	215	11	—	17	1,5	190	240	23	30	37	2	190	270	36	48	62	109	24	160	3
200	225	11	—	17	1,5	200	250	23	30	37	2	200	280	36	48	62	109	24	170	3
220	250	14	—	22	1,5	220	270	23	30	37	2	220	300	36	48	63	110	24	190	3
240	270	14	—	22	1,5	240	300	27	36	45	2,5	240	340	45	60	78	—	—	—	3,5
260	290	14	—	22	1,5	260	320	27	36	45	2,5	260	360	45	60	79	—	—	—	3,5
280	310	14	—	22	1,5	280	350	32	42	53	2,5	280	380	45	60	80	—	—	—	3,5
300	340	18	24	30	1,5	300	380	36	48	62	3	300	420	54	73	95	—	—	—	4
320	360	18	24	30	1,5	320	400	36	48	63	3	320	440	54	73	95	—	—	—	4
340	380	18	24	30	1,5	340	420	36	48	64	3	340	460	54	73	96	—	—	—	4
360	400	18	24	30	1,5	360	440	36	48	65	3	360	500	63	85	110	—	—	—	5
380	420	18	24	30	1,5	380	460	36	48	65	3	380	520	63	85	112	—	—	—	5
400	440	18	24	30	1,5	400	480	36	48	65	3	400	540	63	85	112	—	—	—	5
420	460	18	24	30	1,5	420	500	36	48	65	3	420	580	73	95	130	—	—	—	6
440	480	18	24	30	1,5	440	540	45	60	80	3,5	440	600	73	95	130	—	—	—	6
460	500	18	24	30	1,5	460	560	45	60	80	3,5	460	620	73	95	130	—	—	—	6
480	520	18	24	30	1,5	480	580	45	60	80	3,5	480	650	78	103	135	—	—	—	6
500	540	18	24	30	1,5	500	600	45	60	80	3,5	500	670	78	103	135	—	—	—	6
530	580	23	30	38	2	530	640	50	67	85	4	530	710	82	109	140	—	—	—	6
560	610	23	30	38	2	560	670	50	67	85	4	560	750	85	115	150	—	—	—	6
600	650	23	30	38	2	600	710	50	67	85	4	600	800	90	122	160	—	—	—	6
630	680	23	30	38	2	630	750	54	73	95	4	630	850	100	132	175	—	—	—	8
670	730	27	36	45	2,5	670	800	58	78	105	5	670	900	103	140	180	—	—	—	8
710	780	32	42	53	2,5	710	850	63	85	112	5	710	950	109	145	190	—	—	—	8
750	820	32	42	53	2,5	750	900	67	90	120	5	750	1000	112	150	195	—	—	—	8
800	870	32	42	53	2,5	800	950	67	90	120	5	800	1060	118	155	205	—	—	—	10
850	920	32	42	53	2,5	850	1000	67	90	120	5	850	1120	122	160	212	—	—	—	10
900	980	36	36	63	3	900	1060	73	95	130	6	900	1180	125	170	220	—	—	—	10
950	1030	36	48	63	3	950	1120	78	103	135	6	950	1250	136	180	236	—	—	—	10
1000	1090	41	54	70	3,5	1000	1180	82	109	140	6	1000	1320	145	190	250	—	—	—	10
1060	1150	41	54	70	3,5	1060	1250	85	115	150	6	1060	1400	155	206	265	—	—	—	12
1120	1220	45	60	80	3,5	1120	1320	90	122	160	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1180	1280	45	60	80	3,5	1180	1400	100	132	175	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1250	1360	50	67	85	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 10

Средние серии									Тяжелые серии									Особо тяжелая серия			
Серия диаметров 3									Серия диаметров 4									Серия диаметров 5			
		Серии высот									Серии высот									Низкая серия	
d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная				Координаты фасок r	d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная				Координаты фасок r	d	D	9	
		7	9	0							7	9	0							Высота H	Координаты фасок r
		Высота				a	d_a				Высота				a	d_a					
		H		H_2							H		H_2								
4	20	7	—	11	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	24	8	—	12	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	26	8	—	12	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	30	9	—	14	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	32	9	—	14	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	37	10	—	15	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	40	10	—	16	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	52	21	1,5
20	47	12	—	18	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	60	24	1,5
25	52	12	—	18	34	8	20	1,5	25	60	16	21	24	45	11	15	1,5	25	73	29	2
30	60	14	—	21	38	9	25	1,5	30	70	18	24	28	52	12	20	1,5	30	85	34	2
35	68	15	—	24	44	10	30	1,5	35	80	20	27	32	59	14	25	2	35	100	39	2
40	78	17	22	26	49	12	30	1,5	40	90	23	30	36	65	15	30	2	40	110	42	2,5
45	85	18	24	28	52	12	35	1,5	45	100	25	34	39	72	17	35	2	45	120	45	3
50	95	20	27	31	58	14	40	2	50	110	27	36	43	78	18	40	2,5	50	135	51	3
55	105	23	30	35	64	15	45	2	55	120	29	39	48	87	20	45	2,5	55	150	58	3,5
60	110	23	30	35	64	15	50	2	60	130	32	42	51	93	21	50	2,5	60	160	60	3,5
65	115	23	30	36	65	15	55	2	65	140	34	45	56	101	23	50	3	65	170	63	3,5
70	125	25	34	40	72	16	55	2	70	150	36	48	60	107	24	55	3	70	180	67	4
75	135	27	36	44	79	18	60	2,5	75	160	38	51	65	115	26	60	3	75	190	69	4
80	140	27	36	44	79	18	65	2,5	80	170	41	54	68	120	27	65	3,5	80	200	73	4
85	150	29	39	49	87	19	70	2,5	85	180	42	58	72	128	29	65	3,5	85	215	78	5
90	155	29	39	50	88	19	75	2,5	90	190	45	60	77	135	30	70	3,5	90	225	82	5
100	170	32	42	55	97	21	85	2,5	100	210	50	67	85	150	33	80	4	100	250	90	5
110	190	36	48	63	110	24	95	3	110	230	54	73	92	166	37	90	4	110	270	95	6
120	210	41	54	70	123	27	100	3,5	120	250	58	78	102	177	40	95	5	120	300	109	6
130	225	42	58	75	130	30	110	3,5	130	270	63	85	110	192	42	100	5	130	320	115	6
140	240	45	60	80	140	31	120	3,5	140	280	63	85	112	196	44	110	5	140	340	122	6
150	250	45	60	80	140	31	130	3,5	150	300	67	90	120	209	46	120	5	150	360	125	8
160	270	50	67	87	153	33	140	4	160	320	73	95	130	226	50	130	6	160	380	132	8
170	280	50	67	87	153	33	150	4	170	340	78	103	135	236	50	135	6	170	400	140	8
180	300	54	73	95	165	37	150	4	180	360	82	109	140	245	52	140	6	180	420	145	8
190	320	58	78	105	183	40	160	5	190	380	85	115	150	—	—	—	6	190	440	150	8
200	340	63	85	110	192	42	170	5	200	400	90	122	155	—	—	—	6	200	460	155	10
220	360	63	85	112	—	—	—	5	220	420	90	122	160	—	—	—	6	220	500	170	10
240	380	63	85	112	—	—	—	5	240	440	90	122	160	—	—	—	8	240	540	180	10
260	420	73	95	130	—	—	—	6	260	480	100	132	175	—	—	—	8	260	580	190	12
280	440	73	95	130	—	—	—	6	280	520	109	145	190	—	—	—	8	280	620	206	12
300	480	82	109	140	—	—	—	6	300	540	109	145	190	—	—	—	8	300	670	224	12
320	500	82	109	140	—	—	—	6	320	580	118	155	205	—	—	—	10	320	710	236	12
340	540	90	122	160	—	—	—	6	340	620	125	170	220	—	—	—	10	340	750	243	15
360	560	90	122	160	—	—	—	6	360	640	125	170	220	—	—	—	10	360	780	250	15
380	600	100	132	175	—	—	—	8	380	670	132	175	224	—	—	—	10	380	820	265	15
400	620	100	132	175	—	—	—	8	400	710	140	185	243	—	—	—	10	400	850	272	15
420	650	103	140	180	—	—	—	8	420	730	140	185	243	—	—	—	10	420	900	290	18
440	680	109	145	190	—	—	—	8	440	780	155	206	265	—	—	—	12	440	950	308	18
460	710	112	150	195	—	—	—	8	460	800	155	206	265	—	—	—	12	460	980	315	18
480	730	112	150	195	—	—	—	8	480	850	165	224	290	—	—	—	12	480	1000	315	18
500	750	112	150	195	—	—	—	8	500	870	165	224	290	—	—	—	12	500	1060	335	18
530	800	122	160	212	—	—	—	10	530	920	175	236	308	—	—	—	12	530	1090	335	18
560	850	132	175	224	—	—	—	10	560	980	190	250	335	—	—	—	15	560	1150	355	18

Продолжение табл. 10

Средние серии									Тяжелые серии									Особо тяжелая серия			
Серия диаметров 3									Серия диаметров 4									Серия диаметров 5			
		Серии высот									Серии высот										
d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная		a	d_2	Координаты фасок r	d	D	Особо низкая	Низкая	Нормальная		a	d_2	Координаты фасок r	d	D	Низкая серия	Координаты фасок r
		7	9	0							7	9	0							99	
		Высота									Высота									Высота H	
		H		H_2							H		H_2								
600	900	136	180	236	—	—	—	10	600	1030	195	258	335	—	—	—	15	600	1220	375	18
630	950	145	190	250	—	—	—	12	630	1090	206	280	365	—	—	—	15	630	1280	388	18
670	1000	150	200	258	—	—	—	12	670	1150	218	290	375	—	—	—	18	670	1320	388	18
710	1060	160	212	272	—	—	—	12	710	1220	230	308	400	—	—	—	18	710	1400	412	18
750	1120	165	224	290	—	—	—	12	750	1280	236	315	412	—	—	—	18	—	—	—	—
800	1180	170	230	300	—	—	—	12	800	1360	250	335	438	—	—	—	18	—	—	—	—
850	1250	180	243	315	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	1320	190	250	335	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
950	1400	200	272	355	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Размерные ряды для радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников обеспечивают конструирование однорядных и двухрядных шарикоподшипников, а также роликоподшипников однорядных, двухрядных и многорядных.

Габаритные размеры стандартизованы для:

а) внутренних диаметров (d);
б) наружных диаметров (D);
в) ширин или высот (B, T, H и H_2);
г) координат фасок.

Они даны для каждой размерной серии отдельно.

Конические отверстия внутренних колец подшипников изготовляются с конусностью 1 : 12. При этом меньший диаметр конуса в плоскости торца должен соответствовать диаметру отверстия подшипника с цилиндрическим отверстием.

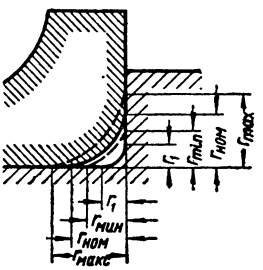
Внутренний диаметр d_1 свободных колец упорных шарико- и роликоподшипников выбирают в зависимости от внутреннего диаметра d тугих колец по табл. 11.

11. Внутренний диаметр свободных колец

Внутренний диаметр d в *мм*	Свыше	0	120	300	400	500	630	800	1000
	До	120	300	400	500	630	800	1000	1250
$d_1 >$	—	d+0,2	d+0,3	d+0,4	d+0,5	d+0,6	d+0,7	d+0,8	d+1,0

Размеры фасок колец шарико- и роликоподшипников, а также галтелей валов указаны в табл. 12.

12. Размеры фасок колец шарико- и роликоподшипников (по ГОСТ 4253-48) и галтелей валов



Координаты фасок подшипников			Наибольшая галтель вала или корпуса r_1	Высота заплечика h *наим*
r *ном*	r max	r min		
0,2	0,4	0,1	0,1	—
0,3	0,5	0,2	0,2	—
0,4	0,7	0,2	0,2	—
0,5	0,8	0,3	0,3	1
1	1,5	0,7	0,6	2,5
1,5	2,1	1,1	1	3
2	2,7	1,3	1	3,5
2,5	3,3	1,8	1,5	4,5
3	4	2,3	2	5
3,5	4,5	2,5	2	6
4	5,2	3	2,5	7
5	6,3	3,7	3	9
6	7,5	4,7	4	11
8	10	6	5	14
10	12,5	7,5	6	18
12	15	9,5	8	22
15	19	12	10	27
18	23	14	12	32

Примечания: 1. Фаски могут быть нормальными симметричными и с уступом на торцовой поверхности.

2. Указанные величины высоты заплечиков действительны только для радиальных подшипников.

Глава II

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНДАРТНЫХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Основные характеристики стандартных подшипников качения: габаритные размеры, коэффициенты работоспособности, статическая грузоподъемность и предельно допускаемые числа оборотов приведены в табл. 1—23.

Кроме того, в таблицах помещены также данные о внутренней конструкции подшипников (число шариков или роликов и их размеры) и приведены размеры элементов деталей подшипников (диаметры по бортикам колец, стопорные канавки, смазочные отверстия и т. д.).

При пользовании таблицами надо иметь в виду следующее:

1. Полные сведения указаны по подшипникам, на которые разработаны рабочие чертежи. Эти подшипники, если они освоены производством серийных заводов, отмечены знаком + (плюс).

На подшипники, предусмотренные ГОСТ, внутренняя конструкция которых пока не разработана, приведены лишь габаритные размеры.

2. Для размеров деталей подшипников приняты следующие обозначения:

d — внутренний диаметр подшипника или диаметр вала;

D — наружный диаметр подшипника;

B — ширина подшипника;

T — общая монтажная высота;

H и H_2 — высота подшипника;

r и r_1 — координаты монтажных фасок, а также радиус установочных канавок и установочного кольца;

d_1 — внутренний диаметр втулки и внутренний диаметр свободного кольца упорного подшипника;

d_2 — наибольший наружный диаметр внутреннего кольца и внутренний диаметр тугого кольца упорного шарикоподшипника;

d_0, d_2, d_3 — диаметр отверстия для смазки;

D_1 и D_2 — внутренний диаметр наружного кольца;

B_1 — величина выступания фасочной шайбы за габариты подшипника;

C — ширина наружного кольца конического подшипника;

L — длина закрепительной втулки;

β — угол контакта.

3. Коэффициенты работоспособности и предельные числа оборотов взяты из каталога на шарико- и роликоподшипники (изд. «Союзподшипниксбыт», 1956).

На подшипники, не вошедшие в указанный каталог, эти показатели вычислены руководствуясь формулами на стр. 117, гл. III.

4. Статическая грузоподъемность вычислена по формулам, рекомендованным ISO ТК4 и принятым СССР.

5. Выбор подшипников для различных условий работы следует производить, как указано в гл. III.

6. Посадки подшипников принимать по материалам гл. IV.

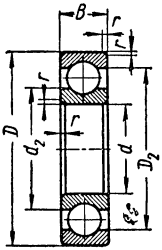
7. Допускаемые нагрузки на подшипники приведены в табл. 1, 4—7, 9—11, 13—15, 17—23, допускаемых радиальных нагрузок на подшипники в зависимости от их коэффициентов, работоспособности C и числа оборотов в минуту.

8. Веса шарико- и роликоподшипников и свободных деталей даны в табл. 24—29.

РАЗМЕРЫ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНДАРТНЫХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

1. Шарикоподшипники радиальные однорядные.

Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 8338-57	Основные размеры по ГОСТ 8338-57				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	B	r			Диаметр	Количество			
Сверхлегкая серия диаметров 9, нормальная ширина											
1 000 091	1	4	1,6	0,2							
+1 000 092	2	6	2,3	0,2	3,3	4,7	1	7	250	9	25 000
1 000 093	3	8	3	0,2							
+1 000 094	4	11	4	0,3	6,2	8,9	2	7	970	35	25 000
+1 000 095	5	13	4	0,4	7,35	10,1	2	8	1 000	40	25 000
+1 000 096Л	6	15	5	0,4	8,8	12,2	2,38	8	1 400	56	25 000
+1 000 097	7	17	5	0,5	10	14	3	7	2 200	78	25 000
+1 000 098	8	19	6	0,5	11,5	15,5	3	8	2 400	90	25 000
+1 000 099	9	20	6	0,5	11,5	16,9	3,5	7	2 800	105	25 000
+1 000 900	10	22	6	0,5	12,5	18,9	3,97	7	3 700	138	25 000
+1 000 901	12	24	6	0,5	14,5	20,9	3,97	7	3 700	138	25 000
+1 000 902	15	28	7	0,5	19,2	23,7	3,18	12	3 500	150	25 000
+1 000 903	17	30	7	0,5	21	26	3,5	11	4 000	168	20 000
+1 000 904	20	37	9	0,5	24,7	32,3	5	10	7 400	310	16 000
+1 000 905	25	42	9	0,5	29,7	37,3	5	12	8 400	375	16 000
+1 000 906	30	47	9	0,5	34,5	42,5	5	13	8 800	405	13 000
+1 000 907Ю	35	55	10	1	41,4	48,6	5,95	13	12 400	570	10 000
+1 000 908Ю	40	62	12	1	46,8	55,1	6,35	14	14 600	700	10 000
1 000 909	45	68	12	1							
1 000 910	50	72	12	1							
1 000 911	55	80	13	1,5	68,3	76,7	7,14	17	21 000	1 080	6 300
+1 000 912Л	60	85	13	1,5	73,2	81,8	7,14	19	22 800	1 200	6 300
1 000 913	65	90	13	1,5							
1 000 914	70	100	16	1,5							
+1 000 915	75	105	16	1,5	84,7	95,2	8,73	18	32 000	1 700	6 300
1 000 916	80	110	16	1,5	89,3	100,7	9,53	17	36 000	1 920	5 000
1 000 917Л	85	120	18	2	96,8	108,2	9,53	18	37 000	2 000	5 000
+1 000 918	90	125	18	2	101,3	113,7	10,32	18	45 000	2 400	5 000
1 000 919Л	95	130	18	2	106,3	118,7	10,32	18	45 000	2 400	4 000
1 000 920	100	140	20	2							
+1 000 921Г	105	145	20	2	117,4	132,6	12,7	17	60 000	3 400	4 000
+1 000 922Л	110	150	20	2	123	137	11,51	19	54 000	3 100	4 000
+1 000 924	120	165	22	2	134,4	150,6	13,49	18	74 000	4 100	3 200
+1 000 926Л	130	180	24	2,5	146	164	15,08	18	90 000	5 100	3 200
+1 000 928Л	140	190	24	2,5	156	174	15,08	19	94 000	5 400	3 200
1 000 930Л	150	210	28	3	169,5	190,5	17,46	18	110 000	6 800	2 500
1 000 932Л	160	220	28	3	179,5	200,5	17,46	18	110 000	6 800	2 500
1 000 934	170	230	28	3							
1 000 936Л	180	250	33	3	202,6	227,4	20,64	18	148 000	9 500	2 000
1 000 938	190	260	33	3							
1 000 940Л	200	280	38	3,5	225	254	23,81	17	181 000	12 000	2 000
+1 000 944Л	220	300	38	3,5	246,7	273,3	22,23	20	179 000	12 200	2 000
1 000 948	240	320	38	3,5	267	293	22,23	22	188 000	13 500	1 600
1 000 952	260	360	46	3,5	312	348	30,16	18	280 000	20 500	1 300
+1 000 956Л	280	380	46	3,5							
1 000 960	300	420	56	4							

Продолжение табл. 1

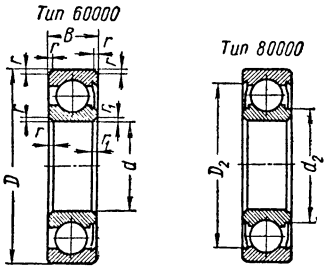
Условное обозначение по ГОСТ 8338-57	Основные размеры по ГОСТ 8338-57				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	B	r			Диаметр	Количество			
+1 000 964Л	320	440	56	4	358	402	36,51	18	360 000	30 000	1 300
Особо легкая серия диаметров 1, узкая ширина											
+7 000 101	12	28	7	0,5	16,6	23,8	4,76	8	5 400	225	20 000
+7 000 102	15	32	8	0,5	19,7	27,3	4,76	8	5 400	225	20 000
+7 000 103	17	35	8	0,5	22,3	29,7	5,16	9	7 500	300	20 000
7 000 104	20	42	8	0,5							
+7 000 105	25	47	8	1	33	41	5,56	11	9 300	420	13 000
+7 000 106	30	55	9	1,0	39,4	45,6	5,56	14	11 000	540	13 000
+7 000 107	35	62	9	1	44,6	52,5	5,56	15	11 600	570	10 000
+7 000 108	40	68	9	1	49,2	58,7	6,35	16	15 000	800	10 000
+7 000 109Л	45	75	10	1	56,2	63,8	6,35	17	17 100	850	8 000
+7 000 110Б1	50	80	10	1	61,3	69,1	6,35	18	18 000	900	8 000
+7 000 111Л	55	90	11	1	68,2	76,8	7,14	17	21 000	1 080	6 300
7 000 112	60	95	11	1	73,2	81,8	7,14	18	22 000	1 150	6 300
+7 000 113Л	65	100	11	1	78	86,8	7,14	19	22 000	1 200	6 300
+7 000 114	70	110	13	1	86,2	96	7,94	18	26 000	1 400	6 300
7 000 115	75	115	13	1							
7 000 116	80	125	14	1							
7 000 117	85	130	14	1							
7 000 118	90	140	16	1,5							
7 000 119	95	145	16	1,5							
7 000 120Л	100	150	16	1,5							
7 000 121	105	160	18	1,5							
7 000 122	110	170	19	1,5							
7 000 124	120	180	19	1,5							
7 000 126	130	200	22	2							
7 000 128	140	210	22	2							
7 000 130Л	150	225	24	2	178	197	15,88	20	100 000	6 300	2 500
7 000 132	160	240	25	2,5							
7 000 134	170	260	28	2,5							
7 000 136Л	180	280	31	3	216,7	243,3	22,23	18	164 000	11 000	2 000
Особо легкая серия диаметров 1, нормальная ширина											
+ 17	7	19	6	0,5	10,2	16	3,97	6	3 400	118	25 000
+ 18	8	22	7	0,5	11,5	18,05	3,97	7	3 700	138	25 000
19	9	24	7	0,5							
+100Л	10	26	8	0,5	15,4	21,3	4,76	7	5 400	200	25 000
+101	12	28	8	0,5	16,6	23,8	4,76	8	5 400	225	20 000
102	15	32	9	0,5							
103	17	35	10	0,5							
+104Б	20	42	12	1	26,9	35,5	6,35	9	11 000	450	16 000
+105Л	25	47	12	1	32,2	39,8	6,35	10	11 300	500	13 000
+106	30	55	13	1,5	38,2	46,8	7,14	11	15 000	700	10 000
+107	35	62	14	1,5	43,2	53,4	7,94	11	18 500	860	10 000
+108	40	68	15	1,5	49,7	59,3	7,94	12	20 000	940	8 000
+109	45	75	16	1,5	55,4	65,5	8,73	13	25 000	1 220	8 000
+110	50	80	16	1,5	59	71,2	8,73	12	24 000	1 120	8 000
+111Л	55	90	18	2	68	79,6	10,32	12	32 000	1 600	8 000
+112Б	60	95	18	2	70,8	84,2	11,11	12	37 000	1 850	8 000
+113Л	65	100	18	2	77	89,4	10,32	15	37 000	2 000	6 300
+114	70	110	20	2	82,8	97,6	12,3	13	45 000	2 450	6 300
+115Л	75	115	20	2	88,3	102,6	12,3	14	46 000	2 650	5 000
+116Л	80	125	22	2	95,3	111,5	13,49	14	57 000	3 150	5 000
+117Ю	85	130	22	2	99,4	116	13,49	14	57 000	3 150	5 000
+118Л	90	140	24	2,5	108,4	123,6	14,29	15	66 000	3 800	4 000
119Л	95	145	24	2,5	111,4	128,6	14,29	14	64 000	3 550	4 000
+120Г	100	150	24	2,5	116,0	133,5	14,29	15	66 000	3 800	4 000
+121Б	105	160	26	3	122	143	17,46	13	86 000	4 950	4 000
+122Г	110	170	28	3	130	152	18,26	13	94 000	5 400	3 200
+124Л	120	180	28	3	142	161	18,26	15	104 000	6 200	3 200
+126	130	200	33	3	156,5	178,6	20,64	14	120 000	7 400	3 200

Продолжение табл. 1

Условное обозначение по ГОСТ 8338-57	Основные размеры по ГОСТ 8338-57				d_1	D_1	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	B	r			Диаметр	Количество			
128	140	210	33	3							
+130Л	150	225	35	3,5	174	201	22,23	16	152 000	9 800	2 500
132Л	160	240	38	3,5	185	215	23,81	15	164 000	10 500	2 500
+134	170	260	42	3,5	199	231	26,99	14	194 000	12 800	2 500
+136Л	180	280	46	3,5	212	248	30,16	14	230 000	16 000	2 000
138	190	290	46	3,5							
+140Г2	200	310	51	3,5	235	275	33,34	13	260 000	18 000	2 000
144	220	340	56	4							
+148Л	240	360	56	4	278	322	36,51	14	310 000	23 000	1 600
152	260	400	65	5							
+156	280	420	65	5	325	375	41,28	12	358 000	25 500	1 300
160	300	460	74	5							
+164Л	320	480	74	5	373	426	44,45	16	460 000	39 500	800
Легкая серия диаметров 2											
+ 23	3	10	4	0,3	5,55	7,85	1,59	7	610	22	25 000
+ 24	4	13	5	0,4	6,3	10,1	2,38	6	1 160	42	25 000
+ 25	5	16	5	0,5	7,55	12,6	3,18	6	2 000	75	25 000
+ 26	6	19	6	0,5	9	15,45	3,97	6	3 400	118	25 000
+ 27	7	22	7	0,5	11,5	18,05	3,97	7	3 700	138	25 000
28	8	24	7	0,5							
+ 29	9	26	8	1	13,7	21,1	4,76	7	5 400	200	25 000
+200	10	30	9	1	15,9	24,1	5,95	6	7 100	265	20 000
+201	12	32	10	1	18,5	26,3	5,56	7	7 100	270	20 000
+202	15	35	11	1	21,2	29,2	5,95	8	8 500	350	16 000
+203	17	40	12	1	23,9	33,3	7,14	7	11 300	445	16 000
+204	20	47	14	1,5	28,3	39,5	7,94	8	15 000	630	16 000
+205	25	52	15	1,5	33,3	43,9	7,94	9	16 000	710	13 000
+206	30	62	16	1,5	40,3	51,7	9,53	9	22 000	1 000	13 000
+207	35	72	17	2	46,9	60,2	11,11	9	30 000	1 390	10 000
+208	40	80	18	2	52,4	67,6	12,7	9	39 000	1 800	10 000
+209	45	85	19	2	57,4	72,6	12,7	9	39 000	1 800	8 000
+210	50	90	20	2	61,8	77,6	12,7	10	42 000	2 000	8 000
+211	55	100	21	2,5	68,7	86	14,29	10	52 000	2 550	8 000
+212	60	110	22	2,5	75,7	94,5	15,88	10	62 000	3 150	6 300
+213	65	120	23	2,5	82,5	102,5	16,67	10	68 000	3 500	6 300
+214	70	125	24	2,5	87	108	17,46	10	74 000	3 800	5 000
+215	75	130	25	2,5	92	113	17,46	11	78 000	4 200	5 000
+216	80	140	26	3	98,6	121,4	19,05	10	84 000	4 500	5 000
+217	85	150	28	3	106	129	19,84	11	98 000	5 400	4 000
+218	90	160	30	3	112,4	139	22,23	10	112 000	6 100	4 000
+219	95	170	32	3,5	118	147	23,81	10	124 000	7 100	4 000
+220	100	180	34	3,5	125	155	25,4	10	136 000	7 500	3 200
+221	105	190	36	3,5	131	164	26,99	10	152 000	9 100	3 200
+222	110	200	38	3,5	138	172	28,58	10	164 000	10 200	3 200
+224	120	215	40	3,5	149	185	30,16	10	182 000	11 200	3 200
+226	130	230	40	4	163	198	28,58	11	182 000	11 200	2 500
+228Л	140	250	42	4	178	213	28,58	11	182 000	11 200	2 500
+230Л	150	270	45	4	190	230	33,34	11	230 000	15 200	2 500
232Л	160	290	48	4	204	246	34,92	11	250 000	16 800	2 000
234	170	310	52	5	215	265	41,28	10	300 000	21 000	2 000
+236Г1	180	320	52	5	227	275	38,1	11	290 000	20 000	2 000
238Л	190	340	55	5	240	290	41,28	11	320 000	23 500	1 600
240	200	360	58	5							
+244	220	400	65	5	285	338	44,45	11	360 000	27 000	1 300
Средняя серия диаметров 3											
+ 34	4	16	5	0,5	7,55	12,6	3,18	6	2 000	75	25 000
+ 35	5	19	6	0,5	9	15,45	3,97	6	3 400	115	25 000
+300	10	35	11	1	17,9	27,1	7,14	6	10 000	380	16 000
+301	12	37	12	1,5	19,5	29,5	7,94	6	12 300	470	16 000
+302	15	42	13	1,5	23,6	33,8	7,94	7	13 500	550	16 000

Продолжение табл. 1

Условное обозначение по ГОСТ 8338-57	Основные размеры по ГОСТ 8338-57				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	B	r			Диаметр	Количество			
+303	17	47	14	1,5	26,3	37,7	9,53	6	17 100	680	13 000
+304	20	52	15	2	30,3	41,7	9,53	7	19 000	790	13 000
+305	25	62	17	2	36,6	50,4	11,51	7	27 000	1 150	10 000
+306	30	72	19	2	44,6	59,4	12,3	8	33 000	1 500	10 000
+307	35	80	21	2,5	48,9	66,1	14,29	7	40 000	1 780	8 000
+308	40	90	23	2,5	74,5	56,5	15,08	8	48 000	2 280	8 000
+309	45	100	25	2,5	61,7	82,6	17,46	7	57 000	2 650	6 300
+310	50	110	27	3	68,7	91,4	19,05	8	72 000	3 600	6 300
+311	55	120	29	3	75	100	20,64	8	84 000	4 250	6 300
+312	60	130	31	3,5	81,5	108	22,23	8	94 000	4 900	5 000
+313	65	140	33	3,5	88	116,8	23,81	8	106 000	5 600	5 000
+314	70	150	35	3,5	94,6	125,2	25,4	8	120 000	6 400	5 000
+315	75	160	37	3,5	101,3	133,7	26,99	8	132 000	7 300	4 000
+316	80	170	39	3,5	108	142	28,58	8	144 000	8 100	4 000
+317	85	180	41	4	114,4	150,6	30,16	8	158 000	9 100	4 000
+318	90	190	43	4	121	159	31,75	8	170 000	10 000	3 200
+319	95	200	45	4	127,5	167,5	33,34	8	182 000	11 000	3 200
+320	100	215	47	4	135,6	179,4	36,51	8	210 000	13 200	3 200
+321	105	225	59	4	142	187,9	38,1	8	230 000	14 500	2 500
+322	110	240	40	4	150	200	41,28	8	260 000	17 000	2 500
+324	120	260	55	4	164	216	42,86	8	270 000	18 200	2 500
+326	130	280	58	5	178	232	44,45	8	290 000	19 500	2 000
328	140	300	62	5							
+330Л	150	320	65	5	204	266	50,8	8	360 000	25 000	2 000
Тяжелая серия диаметров 4											
+403Б	17	62	17	2	32,4	48,1	12,7	6	29 000	1 200	10 000
404	20	72	19	2	36,6	55,1	15,08	6	40 000	1 700	10 000
+405	25	80	21	2,5	42,5	62,5	16,67	6	47 000	2 080	8 000
+406	30	90	23	2,5	48,9	71,5	19,05	6	60 000	2 700	8 000
+407	35	100	25	2,5	55,2	79,8	20,64	6	68 000	3 200	6 300
+408	40	110	27	3	62,2	88,3	22,23	6	78 000	3 700	6 300
+409	45	120	29	3	68,7	96,3	23,02	7	92 000	4 600	6 300
+410	50	130	31	3,5	75	105,2	25,4	7	108 000	5 600	5 000
+411	55	140	33	3,5	81,5	113,7	26,99	7	120 000	6 300	5 000
+412	60	150	35	3,5	88	122,2	28,58	7	132 000	7 100	4 000
+413	65	160	37	3,5	94,6	130,6	30,16	7	144 000	8 000	4 000
414	70	180	42	4	104	146	34,93	7	182 000	10 500	4 000
415Л	75	190	45	4	110,6	155,1	36,513	7	194 000	11 500	4 000
+416Л	80	200	48	4	117	164	38,1	7	210 000	12 500	3 200
417	85	210	52	5	123	173	39,69	7	220 000	13 800	3 200
418	90	225	54	5	131	183	42,86	7	250 000	16 000	2 500



2. Шарикоподшипники радиальные однорядные с защитными шайбами

Размеры в *мм*

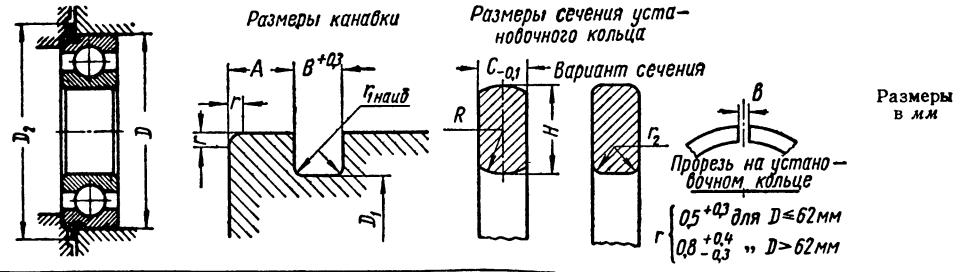
Условное обозначение подшипника по ГОСТ 7242-54		Основные размеры по ГОСТ 7242-54						
60000	80000							
с одной защитной шайбой	с двумя защитными шайбами	*d*	*D*	*B*	*r*	r_1	d_2	D_2
			Особо легкая серия					
+60018	+80018	8	22	7	0,5	0,3	10,3	19,5
+60104	+80104	20	42	12	1	1	24,8	37,3
60105	80105	25	47	12	1	1		
+60106	+80106	30	55	13	1,5	1,5	37	48
60107	80107	35	62	14	1,5	1,5		
60108	80108	40	68	15	1,5	1,5		
			Легкая серия					
+60024	+80024	4	13	5	0,3	0,3	5,8	11,4
+60025	80025	5	16	5	0,5	0,3	6,5	13,6
60026	80026	6	19	6	0,5	0,3		
+60027	+80027	7	22	7	0,5	0,3	10,3	19,5
60028	80028	8	24	8	0,5	0,3		
+60029	+80029	9	26	8	1	0,5	12	22,5
+60200	+80200	10	30	9	1	0,5	14,5	26
+60201	+80201	12	32	10	1	0,5	16	27,9
+60202	+80202	15	35	11	1	0,5	19,2	31
+60203	+80203	17	40	12	1	1	22	35,3
+60204	+80204	20	47	14	1,5	1,5	25,8	41,8
+60205	+80205	25	52	15	1,5	1,5	31,1	46,5
+60206	80206	30	62	16	1,5	1,5	38	54
+60207	80207	35	72	17	2	2	43,5	65
+60208	+80208	40	80	18	2	2	50	71,8
+60209	80209	45	85	19	2	2	55	76,8
60210	80210	50	90	20	2	2		
60211	80211	55	100	21	2,5	2,5		
+60212	+80212	60	110	22	2,5	2,5	68	102
60213	80213	65	120	23	2,5	2,5	83	
+60214	80214	70	125	24	2,5	2,5		115
60215	80215	75	130	25	2,5	2,5		
60216	80216	80	140	26	3	3		
60217	80217	85	150	28	3	3		
60218	80218	90	160	30	3	3	106	148
			Средняя серия					
60034	80034	4	16	5	0,5	0,3		
60035	80035	5	19	6	0,5	0,3		
+60305	80305	25	62	17	2	2	34	55
+60306	80306	30	72	19	2	2	40	64
+60307	80307	35	80	21	2,5	2,5	46,5	70,2
+60308	80308	40	90	23	2,5	2,5	54,1	78,6
60309	80309	45	100	25	2,5	2,5		
+60310	80310	50	110	27	3	3	66,3	95,5
60311	80311	55	120	29	3	3		
60312	80312	60	130	31	3,5	3,5		
60313	80313	65	140	33	3,5	3,5		
60314	80314	70	150	35	3,5	3,5		

Примечания: 1. Шарикоподшипники с двумя защитными шайбами типа 80000 заполняются на заводе-изготовителе смазкой ЦИАТИМ 201.

2. Коэффициент работоспособности *C* и допустимые статические нагрузки $Q_{ст}$—см. одноименные серии подшипников на стр. 42, 43 и 44.

3. Предельные числа оборотов согласовываются с ВНИПП.

3. Шарикоподшипники радиальные однорядные. Канавки на наружных кольцах и установочные кольца



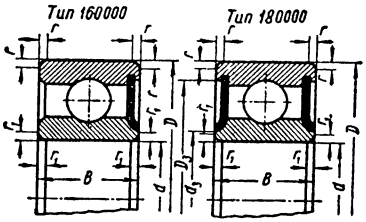
Размеры в *мм*

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 2893-54			Наружный диаметр подшипника D	Канавка							Установочное кольцо						
				D_1		A		B	r_1 наиб.	D_2 наиб.	H		C	R	r_2		b
Легкая серия	Средняя серия	Тяжелая серия		Номинал	Допускаемое отклонение	Номинал	Допускаемое отклонение				Номинал	Допускаемое отклонение			Номинал	Допускаемое отклонение	
50200	—	—	30	28,2						34,6							
50201	—	—	32	30,2						36,6							
+50202	50300	—	35	33,2						39,6	3,2	−0,15	1,1	0,6	0,4		3
—	50301	—	37	34,8	−0,25	2,05	−0,15	1,3	0,4	41,2							
+50203	—	—	40	38,1						44,5							
—	50302	—	42	39,8						46,2							
+50204	+50303	—	47	44,6						52,6	4,0						4
+50205	+50304		52	49,7		2,45				57,7						+0,1	
+50206	+50305	50403	62	59,6						67,6							
+50207	+50306	50404	72	68,8				1,9		78,8		−0,25	1,7	1,0			5
+50208	+50307	50405	80	76,8		3,25				86,8							
+50209	—	—	85	81,8						91,8	5,0		2,45	1,5			
+50210	+50308	+50406	90	86,8			−0,2			96,8							
+50211	+50309	+50407	100	96,8				2,7		106,8							
50212	+50310	+50408	110	106,8						116,8							
+50213	+50311	+50409	120	115,2						129,2							
50214	—	—	125	120,2	−0,5	4,05		3,1	0,6	134,2					0,6		
50215	+50312	+50410	130	125,2				3,1		139,2	7,0		2,8	2			7
+50216	+50313	+50411	140	135,2						149,2							
+50217	50314	+50412	150	145,2		4,9				159,2						+0,2	
50218	50315	+50413	160	155,2						169,2		−0,5					
50219	+50316	—	170	163,6			−0,25			182,6							
50220	50317	50414	180	173,6						192,6							10
50221	50318	50415	190	183,6		5,7		3,5		202,6	9,5		3,1	2,3			
50222	50319	50416	200	193,6						212,6							

Примечание. Основные размеры и расчетные данные см. на стр. 43 и 44 по наружному диаметру D и соответствующей серии.

4. Шарикоподшипники радиальные однорядные с уплотнениями

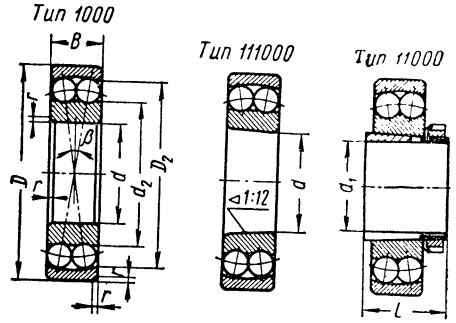
Размеры в *мм*



Условное обозначение подшипника по ГОСТ 8882-58		Основные размеры по ГОСТ 8882-58					d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*
с односторонним уплотнением	с двухсторонним уплотнением	d	D	B	r	r_1			Диаметр	Количество		
Легкая широкая серия												
160500	+180500E	10	30	14	1	0,5	14,9	25,3	5,56	7	6 900	270
160501	+180501E	12	32	14	1	0,5	16	27,6	5,56	7	6 900	270
160502	+180502	15	35	14	1	0,5	19	30,6	5,95	8	8 800	350
160503	180503	17	40	16	1	1						
160504	+180504E	20	47	18	1,5	1,5	27,2	40,4	7,14	8	12 400	510
160505	180505	25	52	18	1,5	1,5						
+160506E	+180506	30	62	20	1,5	1,5	37,3	53,7	7,94	10	17 600	780
160507E	180507	35	72	23	2	2	44,4	61,1	11,11	9	30 000	1400
160508	180508	40	80	23	2	2	48,7	71	12,7	9	39 000	1800
160509	+180509E	45	85	23	2	2	52,8	76,5	11,51	11	37 400	1800
160510	180510	50	90	23	2	2						
160511	180511	55	100	25	2,5	2,5						
160512	180512	60	110	28	2,5	2,5						
160513	180513	65	120	31	2,5	2,5						
160514	180514	70	125	31	2,5	2,5						
160515	180515	75	130	31	2,5	2,5						
160516	180516	80	140	33	3	3						
Средняя широкая серия												
160600	180600	10	35	17	1	0,5						
160601	180601	12	37	17	1,5	1						
160602	180602	15	42	17	1,5	1						
160603	180603	17	47	19	1,5	1,5						
160604	180604	20	52	21	2	2						
160605	180605	25	62	24	2	2						
160606	180606	30	72	27	2	2						
160607	180607	35	80	31	2,5	2,5						
160608	180608	40	90	33	2,5	2,5						
160609	180609	45	100	36	2,5	2,5						
160610	180610	50	110	40	3	3						
160611	180611	55	120	43	3	3						
160612	180612	60	130	46	3,5	3,5						
160613	180613	65	140	48	3,5	3,5						
160614	180614	70	150	51	3,5	3,5						
160615	180615	75	160	55	3,5	3,5						
160616	180616	80	170	58	3,5	3,5						

5. Шарикоподшипники радиальные сферические двухрядные

Размеры в *мм*



Условное обозначение подшипника по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57			Основные размеры по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57						d_2	D_2	β	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в мин.
1000	111000	11000										Диаметр	Количество в одном ряду			
с цилиндрическим отверстием	с коническим отверстием	на закрепительной втулке	d	D	B	d_1	L	r								
Легкая серия																
+1005	—	—	5	19	6	—	—	0,5	10,3	14,6	11°36′	3,18	8	2 400	54	25 000
+1006	—	—	6	19	6	—	—	0,5	10,3	14,6	12°36′	3,18	8	2 400	54	25 000
+1007	—	—	7	22	7	—	—	0,5	12,6	16,8	12°32′	3,18	10	2 800	65	25 000
+1008	—	—	8	22	7	—	—	0,5	12,6	16,8	12°32′	3,18	10	2 800	65	25 000
+1009	—	—	9	26	8	—	—	1	14,6	20	12°40′	3,97	9	4 000	95	20 000
+1200	—	—	10	30	9	—	—	1	16,8	23,1	12°6′	4,76	9	5 600	135	20 000
+1201	—	—	12	32	10	—	—	1	18,7	24,9	12°35′	4,76	10	6 100	150	20 000
+1202	—	—	15	35	11	—	—	1	21,2	28,6	12°29′	5,56	10	8 000	205	16 000
+1203	—	—	17	40	12	—	—	1,5	24,5	31,9	11°34′	5,56	12	9 300	245	16 000
+1204	111204	11203	20	47	14	17	24	1,5	28,8	37,4	10°19′	6,35	12	9 600	320	16 000
+1205	+111205	+11204	25	52	15	20	26	1,5	33,3	43,1	10°15′	7,14	12	12 000	410	13 000
+1206	+111206	+11205	30	62	16	25	27	1,5	40,1	51,5	9°16′	7,94	14	16 200	600	13 000
+1207	+111207	+11206	35	72	17	30	29	2	47,7	59,1	8°43′	7,94	16	18 000	680	10 000
+1208	+111208	+11207	40	80	18	35	31	2	55	67,2	8°19′	8,73	17	22 000	870	10 000
+1209	+111209	+11208	45	85	19	40	33	2	57.7	72,1	8°3′	9,53	16	25 000	980	8 000

Продолжение табл. 5

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57			Основные размеры по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57						d_1	D_1	β	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в мин.
1000	111000	11000	d	D	B	d_1	L	r				Диаметр	Количество в одном ряду			
с цилиндрическим отверстием	с коническим отверстием	на закрепительной втулке														
+1210	+111210	+11209	50	90	20	45	35	2	62,7	77	7°38′	9,53	18	27 000	1100	8 000
+1211	+111211	+11210	55	100	21	50	37	2,5	70,3	86,1	7°24′	10,32	19	33 000	1350	6 300
+1212	+111212	+11211	60	110	22	55	38	2,5	78	95,2	7°1′	11,11	19	38 000	1600	6 300
+1213	+111213	+11212	65	120	23	60	40	2,5	85,5	102,7	6°28′	11,11	21	40 000	1750	5 000
+1214	+111214	—	70	125	24	—	—	2,5	87,6	106,1	6°50′	11,90	20	44 000	1900	5 000
+1215	+111215	+11213	75	130	25	65	43	2,5	93,3	113,6	6°39′	12,7	20	50 000	2150	5 000
+1216	+111216	+11214	80	140	26	70	46	3	102	122,1	6°5′	12,7	22	53 000	2400	5 000
+1217	+111217	+11215	85	150	28	75	50	3	107,3	130,5	6°29′	14,29	21	64 000	2900	4 000
+1218	+111218	+11216	90	160	30	80	52	3	112,7	138,3	6°23′	15,86	19	72 000	3200	4 000
+1219	+111219	+11217	95	170	32	85	55	3,5	120,6	148	6°31′	16,67	20	80 000	3750	4 000
+1220Л	+111220	+11218	100	180	34	90	58	3,5	127,2	155,5	6°35′	17,46	20	88 000	4100	3 200
+1221Л	111221	11219	105	190	36	95	60	3,5	134,3	163,8	6°40′	18,26	20	95 000	4500	3 200
1222Л	+111222	+11220	110	200	38	100	63	3,5	141	173,1	6°34′	19,84	20	110 000	5300	3 200
+1224Л	+111224	11222	120	215	42	110	72	3,5	150	187	7°20′	23,02	19	140 000	7100	2 500
1226	111226	11223	130	230	46	115	80	4								
1228	111228	11225	140	250	50	125	83	4								
1230	111230	11227	150	270	54	135	87	4								
Легкая широкая серия																
1500	—	—	10	30	14	—	—	1								
1501	—	—	12	32	14	—	—	1								
1502	—	—	15	35	14	—	—	1								
1503	—	—	17	40	16	—	—	1,5								
1504	111504	11503	20	47	18	17	28	1,5	28,2	38	17°42′	7,14	12	11 500	400	16 000
+1505	111505	11504	25	52	18	20	29	1,5	33	43	15°58′	7,14	13	12 500	430	13 000
+1506	+111506	+11505	30	62	20	25	31	1,5	40,1	51,1	14°42′	7,94	14	16 000	580	13 000
+1507	111507	+11506	35	72	23	30	35	2	46,2	59,8	13°56′	9,53	14	22 500	840	10 000
+1508	111508	11507	40	80	23	35	36	2	52,6	66,5	12°28′	9,53	16	25 000	960	10 000
+1509	111509	11508	45	85	23	40	39	2	57,7	71,8	11°31′	9,53	18	27 000	1080	8 000
+1510	111510	11509	50	90	23	45	42	2	62,7	77	10°48′	9,53	19	28 000	1150	8 000
1511	111511	11510	55	100	25	50	45	2,5	69,9	86	10°31′	10,32	19	32 500	1350	6 300
1512	111512	11511	60	110	28	55	47	2,5	75,7	94	10°34′	11,91	18	41 000	1700	6 300
1513	111513	11512	65	120	31	60	50	2,5	82,1	102	10°40′	13,49	18	51 000	2200	6 300
1514	111514	—	70	125	31	—	—	2,5	87,7	108	10°4′	13,49	19	53 000	2300	5 000
1515	111515	11513	75	130	31	65	55	2,5	93,3	114	9°34′	13,49	20	55 000	2400	5 000
+1516	111516	11514	80	140	33	70	59	3	99	120,8	9°33′	14,29	20	61 000	2700	5 000

Продолжение табл. 5

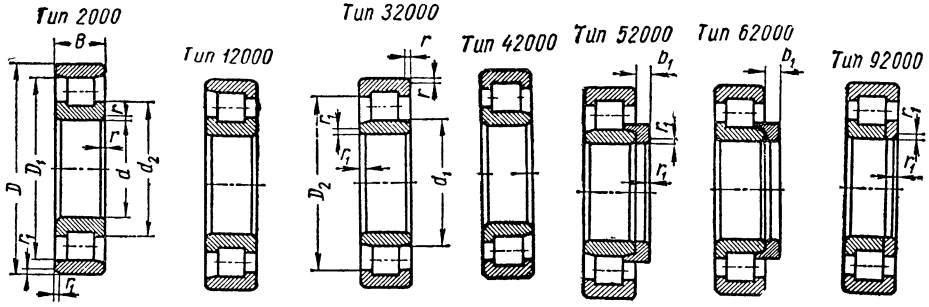
Условное обозначение подшипника по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57			Основные размеры по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57						d_2	D_2	β	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в мин.
1000	111000	11000														
с цилиндрическим отверстием	с коническим отверстием	на закрепительной втулке	d	D	B	d_1	L	r				Диаметр	Количество в одном ряду			
+1517	111517	11 515	85	150	36	75	63	3	105,7	130	9°37′	15,88	19	71 000	3 200	4 000
+1518	111518	11 516	90	160	40	80	65	3	112	139	10°6′	17,46	19	84 000	3 900	4 000
+1519	111519	11 517	95	170	43	85	68	3,5	118	148	10°11′	19,05	19	97 000	4 600	3 000
1520	111520	11 518	100	180	46	90	71	3,5	125,5	156	10°27′	20,64	19	112 000	5 400	3 000
1521	111521	11 519	105	190	50	95	74	3,5								
1522	111522	11 520	110	200	53	100	77	3,5								
1524	111524	11 522	120	215	58	110	88	3,5								
1526	111526	11 523	130	230	64	115	92	4								
1528	111528	11 525	140	250	68	125	97	4								
1530	111530	11 527	150	270	73	135	111	4								
1532	111532	—	160	290	80	—		4								
1534	111534		170	310	86			5								
1536	111536	—	180	320	86			5								
1538	111538	—	190	340	92			5								
1540	111540	—	200	360	98			5								
Средняя серия																
+1300	—	—	10	35	11	—	—	1	19	26,7	12°24′	5,56	9	7 500	180	16 000
+1301	—	—	12	37	12	—	—	1,5	20,2	29	13°3′	6,35	9	9 700	240	16 000
+1302	—	—	15	42	13	—	—	1,5	23,8	32,4	12°34′	6,35	10	10 000	270	16 000
+1303	—	—	17	47	14	—	—	1,5	26,6	36,6	12°22′	7,14	11	11 000	370	13 000
+1304	111304	11 303	20	52	15	17	28	2	31,5	41,5	10°57′	7,14	12	12 000	410	13 000
+1305	111305	11 304	25	62	17	20	29	2	38	50,2	10°32′	8,73	12	13 000	610	10 000
+1306	111306	+11 305	30	72	19	25	31	2	45	58,7	9°42′	9,53	13	22 000	790	10 000
+1307	111307	+11 306	35	80	21	30	35	2,5	51,7	67	9°17′	10,32	14	26 500	1000	8 000
+1308	111308	+11 307	40	90	23	35	36	2,5	57,7	74,3	9°37′	11,11	15	32 000	1200	8 000
+1309	111309	+11 308	45	100	25	40	39	2,5	64	83,2	9°24′	12,7	15	40 000	1600	6 300
+1310	+111310	+11 309	50	110	27	45	42	3	70,3	92	8°55′	14,29	13	45 000	1780	6 300
+1311	+111311	+11 310	55	120	29	50	45	3	78	101	8°51′	15,08	15	55 000	2300	5 000
+1312	111312	+11 311	60	130	31	55	47	3,5	87,2	111,5	8°32′	15,88	16	63 000	2700	5 000
+1313	+111313	+11 312	65	140	33	60	50	3,5	92,7	118,2	8°34′	16,67	16	69 000	3000	5 000
+1314	111314	—	70	150	35	—	—	3,5	98	126	8°29′	18,26	16	80 000	3600	4 000
+1315	+111315	+11 313	75	160	37	65	55	3,5	105	134,3	8°25′	19,05	16	87 000	3900	4 000
+1316Л	+111316	+11 314	80	170	39	70	59	3,5	110,4	143,7	8°11′	20,64	15	95 000	4300	4 000
+1317Л	111317	11 315	85	180	41	75	63	4	118	152	8°15′	21,43	16	105 000	5000	4 000
+1318Л	111318	+11 316	90	190	43	80	65	4	123,3	161,4	8°29′	23,81	15	121 000	5700	3 200

Продолжение табл. 5

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57			Основные размеры по ГОСТ 5720-51 и ГОСТ 8545-57						d_2	D_2	β	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в мин.
1000	111000	11000										Диаметр	Количество в одном ряду			
с цилиндрическим отверстием	с коническим отверстием	на закрепительной втулке	d	D	B	d_1	L	r								
1319	11 1319	11 317	95	200	45	85	68	4	127,8	170	8°37′	25,4	15	130 000	6800	3 200
+1320	11 1320	+11 318	100	215	47	90	71	4	136,2	181,2	8°56′	26,99	15	150 000	7300	3 200
1321	11 1321	+11 319	105	225	49	95	74	4								
1322	11 1322	+11 320	110	240	50	100	77	4								
1324	11 1324	11 322	120	260	55	110	88	4								
Средняя широкая серия																
1600	—	—	10	35	17	—	—	1								
1601	—	—	12	37	17	—	—	1,5								
1602	—	—	15	42	17	—	—	1,5								
1603	—	—	17	47	19	—	—	1,5								
1604	11 1604	11 603	20	52	21	17	31	2	29	40,6	18°53′	8,73	11	15 800	540	10 000
+1605	11 1605	11 604	25	62	24	20	35	2	35,4	49,4	17°26′	10,32	11	21 500	760	10 000
+1606	+11 1606	+11 605	30	72	27	25	38	2	41,8	58,4	16°28′	11,91	11	28 000	1000	8 000
+1607	+11 1607	+11 606	35	80	31	30	43	2,5	46,7	65,6	17°7′	13,49	11	35 000	1300	8 000
+1608	11 1608	11 607	40	90	33	35	46	2,5	53,7	74	16°6′	14,29	12	41 500	1600	6 300
+1609	11 1609	11 608	45	100	36	40	50	2,5	60,4	83,1	15°34′	15,88	12	50 000	2000	6 300
+1610	+11 1610	+11 609	50	110	40	45	55	3	66	91	15°50′	17,46	12	59 000	2400	5 000
+1611	11 1611	11 610	55	120	43	50	59	3	72,2	99,6	15°22′	19,05	12	69 000	2850	5 000
+1612	+11 1612	+11 611	60	130	46	55	62	3,5	77,1	107,9	15°7′	20,64	12	79 000	3350	4 000
+1613	11 1613	11 612	65	140	48	60	65	3,5	85,7	117,9	14°19′	21,43	13	90 000	4000	4 000
+1614	11 1614	—	70	150	51	—	—	3,5	91,8	126,6	14°4′	23,02	13	102 000	4500	4 000
1615	11 1615	11 613	75	160	55	65	73	3,5	97	135	14°14′	24,61	13	114 000	5200	3 200
+1616Л	11 1616	11 614	80	170	58	70	78	3,5	104,4	143,8	14°	26,99	13	125 000	6200	3 200
1617	11 1617	11 615	85	180	60	75	82	4	111	152	13°46′	26,99	13	132 000	6200	3 200
1618	11 1618	11 616	90	190	64	80	86	4	115	159	14°7′	28,58	13	145 000	7000	3 200
1619	11 1619	11 617	95	200	67	85	90	4								
1620	11 1620	11 618	100	215	73	90	97	4								
1621	11 1621	11 619	105	225	77	95	101	4								
1622	11 1622	11 620	110	240	80	100	105	4								
1624	11 1624	11 622	120	260	86	110	112	4								
1626	11 1626	11 623	130	280	93	115	121	5								
1628	11 1628	11 625	140	300	102	125	131	5								
1630	11 1630	11 627	150	320	108	135	134	5								
1632	11 1632	—	160	340	114	—	—	5								
1634	11 1634	—	170	360	120	—	—	5								
1636	11 1636	—	180	380	126	—	—	5								
1638	11 1638	—	190	400	132	—	—	6								
1640	11 1640	—	200	420	138	—	—	6								

6. Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами

Размеры в *мм*



Условное обозначение подшипника по ГОСТ 8328-57		Основные размеры по ГОСТ 8328-57					d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
2000	32000	d	D	B	r	r_1					Диаметр	Полная длина	Количество			
Сверхлегкая серия																
+1002912 Л	1032912	60	85	13	1,5	1	69,1	79	—	—	6,5	6,5	24	29 000	1 800	6 300
1002913	1032913	65	90	13	1,5	1										
1002914	1032914	70	100	16	1,5	1										
1002915	1032915	75	105	16	1,5	1										
1002916	1032916	80	110	16	1,5	1										
1002917	1032917	85	120	18	2	1,5										
1002918	1032918	90	125	18	2	1,5										
1002919	1032919	95	130	18	2	1,5										
1002920 Д1	+1032920 Д1	100	140	20	2	1,5	144,8	130	110	125,2	10	10	26	70 000	5 160	4 000
1002921	1032921	105	145	20	2	1,5										
1002922	1032922	110	150	20	2	1,5										
1002924	+1032924 Д1	120	165	22	2	1,5			131,5	148,3	11	11	30	96 000	6 800	3 200
1002926	+1032926 Б1	130	180	24	2,5	2			143	161,3	12	12	30	112 000	8 200	3 200
1002928	1032928	140	190	24	2,5	2										
1002930	1032930	150	210	28	3	2										
1002932	+1032932 Д	160	220	28	3	2			175	198	15	15	30	176 000	13 200	2 500
1002934	1032934	170	230	28	3	2										
1002936	1032936	180	250	33	3	2										
1002938	1032938	190	260	33	3	2										

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 8328-57		Основные размеры по ГОСТ 8328-57					d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
											Диаметр	Полная длина	Количество			
2000	32000	d	D	B	r	r_1										
1002940	1032940	200	280	38	3,5	2,5										
1002944	1032944	220	300	38	3,5	2,5										
1002948	1032948	240	320	38	3,5	2,5			260	291	20	20	34	340 000	27 000	1 600
1002952	1032952	260	360	46	3,5	3,5										
1002956	1032956	280	380	46	3,5	3,5										
							Особо легкая серия									
2105Б	32105	25	47	12	1	0,5										
2106	32106	30	55	13	1,5	0,8										
2107	32107	35	62	14	1,5	0,8										
2108	32108	40	68	15	1,5	1										
2109	32109	45	75	16	1,5	1										
+2110	32110	50	80	16	1,5	1	61,2	72,6	—	—	7,5	7,5	18	30 000	1 900	8 000
+2111	+32111Д	55	90	18	2	1,5	67,9	81,5	63,5	77,1	9	9	18	43 000	2 800	6 300
2112	32112	60	95	18	2	1,5										
2113	32113	65	100	18	2	1,5										
2114	32114	70	110	20	2	1,5										
2115	32115	75	115	20	2	1,5										
2116	32116	80	125	22	2	1,5										
2117	32117	85	130	22	2	1,5										
2118	+32118Д	90	140	24	2,5	2	—	127	103	121,4	12	12	22	88 000	6 000	4 000
2119	32119	95	145	24	2,5	2										
2120	32120	100	150	24	2,5	2										
2121	+32121	105	160	26	3	2	—	—	119,5	139,4	13	13	24	110 000	7 800	3 200
2122	+32122Д1	110	170	28	3	2	—	—	125	149,2	15	15	20	132 000	8 800	3 200
2124	+32124	120	180	28	3	2	143	165	135	158	15	15	24	150 000	10 500	3 200
2126	32126	130	200	33	3	2										
2128	+32128Д1	140	210	33	3	2			157	185	18	18	22	200 000	14 200	2 500
2130	+32130Д	150	225	35	3,5	2,5	—	—	168,5	198	19	19	24	240 000	17 000	2 500
+2132Л	+32132Д1	160	240	38	3,5	2,5	189	220	181	212	20	20	26	280 000	20 000	2 500
2134Л	+32134Л	170	260	42	3,5	3,5	203	238	192	227	23	23	24	350 000	25 000	2 000
2136Л	32136Л	180	280	46	3,5	3,5	216	255	205	244	25	25	22	400 000	27 000	2 000
2138	32138	190	290	46	3,5	3,5										
2140	+32140Д1	200	310	51	3,5	3,5	238	283	227	270	28	28	24	530 000	38 000	1 600
2144	32144	220	340	56	4	4	264	310	250	296	30	30	24	610 000	44 000	1 600
2148	32148	240	360	56	4	4										
2152	+32152	260	400	65	5	5	308	370	290	352	40	40	21	1 000 000	68 000	800
2156	32156	280	420	65	5	5										
2160	+32160Г	300	460	74	5	5	—	—	340	407	40	40	24	1 070 000	78 000	630
2164	32164	320	480	74	5	5										

Продолжение табл. 6

Условное обозначение по ГОСТ 8328-57					Основные размеры по ГОСТ 8328-57					d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
Тип														Диаметр	Полная длина	Количество			
2000	12000	32000	42000	92000	d	D	B	r	r_1										
Легкая узкая серия																			
+2202Л	12202	32202	+42202		15	35	11	1	0,5	22	30	20	27,4	5	5	10	9 600	440	16 000
2203	12203	32203	42203	92203	17	40	12	1	0,5										
2204	+12204	+32204Д	+42204Л	92204	20	47	14	1,5	1	30	40	27	36,8	6,5	6,5	11	18 000	860	16 000
2205	12205	+32205	+42205	92205	25	52	15	1,5	1	35,2	45	32	41,8	6,5	6,5	13	20 000	1 000	13 000
+2206	12206	+32206	+42206	+92206	30	62	16	1,5	1	41,8	53,5	38,5	50,2	7,5	7,5	13	27 000	1 400	13 000
+2207	12207	+32207	+42207	92207	35	72	17	2	1	47,4	61,8	43,8	58,2	9	9	13	39 000	2 000	10 000
+2208К	+12208	+32208	+42208	92208	40	80	18	2	2	54,8	70	50	65,6	10	10	14	50 000	2 700	10 000
+2209	12209	+32209К	+42209	92209	45	85	19	2	2	59	75	55	70,3	10	10	15	54 000	3 000	8 000
+2210	+12210К	+32210	+42210	92210	50	90	20	2	2	64,6	80,4	60,4	76,3	10	10	17	57 000	3 350	8 000
+2211	12211	+32211	+42211К	92211	55	100	21	2,5	2	71	88,5	66,5	83,3	11	11	17	70 000	3 850	8 000
+2212	12212	+32212Л	+42212К	92212	60	110	22	2,5	2,5	78,4	97,5	73,5	92	12	12	18	84 000	4 900	6 300
+2213	+12213К	+32213	42213	92213	65	120	23	2,5	2,5	84,8	105,6	79,6	100	13	13	17	98 000	5 500	6 300
+2214	12214	+32214	42214	92214	70	125	24	2,5	2,5	89,6	110,5	84,5	104,8	13	13	17	98 000	5 500	5 000
+2215	12215	32215	+42215К	92215	75	130	25	2,5	2,5	92,9	116,5	88,5	110,4	14	14	18	120 000	6 800	5 000
+2216	12216	+32216Л	+42216Л	92216	80	140	26	3	3	100,1	125,3	95,3	118,3	15	15	18	132 000	8 000	5 000
+2217	12217	+32217	+42217Л	+92217	85	150	28	3	3	108,2	133,8	101,8	128	16	16	18	152 000	9 000	4 000
+2218	+12218К	+32218	+42218	+92218Л	90	160	30	3	3	115,4	143	107	135	18	18	17	188 000	11 000	4 000
2219	12219	+32219Д	42219	+92219Д	95	170	32	3,5	3,5	120	151,5	113,5	145	19	19	18	195 000	12 500	4 000
+2220	12220	+32220Д	42220	+92220	100	180	34	3,5	3,5	128	160	120	152	20	20	16	230 000	12 500	3 200
2221	12221	+32221	42221	92221	105	190	36	3,5	3,5	135	168,8	126,8	161	21	21	18	240 000	15 800	3 200
+2222	12222	+32222Д	42222	+92222	110	200	38	3,5	3,5	143	178,5	132,5	168	23	23	17	310 000	18 000	3 200
+2224	12224	32224	+42224Л	+92224	120	215	40	3,5	3,5	154,5	191,5	143,5	183	24	24	18	350 000	21 000	3 200
+2226	12226	+32226	42226	92226	130	230	40	4	4	167	204	156	193	24	24	19	360 000	22 000	2 500
+2228	+12228	+32228	42228	92228	140	250	42	4	4	181	221	169	209	26	26	19	420 000	26 000	2 500
+2230		+32230	+42230	+92230	150	270	45	4	4	193	238	182	225	28	28	19	455 000	30 000	2 500
2232		32232	42232	92232	160	290	48	4	4	204	257	193	247	32	32	17	570 000	34 000	2 000
2234		+32234	+42234	92234	170	310	52	5	5	220	272	208	260	32	32	20	670 000	41 000	2 000
+2236		32236	42236	92236	180	320	52	5	5	233	282	218	267	32	32	20	670 000	41 000	2 000
2238		32238	42238	92238	190	340	55	5	5	247	299	231	283	34	34	20	700 000	46 000	1 600
2240		+32240К	+42240	+92240К	200	360	58	5	5	258	316	244	300	36	36	20	350 000	52 000	1 600
2244		**32244**	+42244	92244	220	400	65	5	5	288	350	270	332	40	40	20	980 000	65 000	1 600
2248		**32248**	42248	92248	240	440	72	5	5										
2252		32252	42252	92252	260	480	80	6	6										

Продолжение табл. 6

Условное обозначение по ГОСТ 8328-57		Основные размеры по ГОСТ 8328-57					d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
2000	32000	d	D	B	r	r_1					Диаметр	Полная длина	Количество			
Легкая широкая серия																
+2505	32505	25	52	18	1,5	1	35,1	45	32	—	6,5	9	13	22 000	1 400	10 000
2506	32506	30	62	20	1,5	1										
2507	+32507	35	72	23	2	1	47,6	61,8	43,8	58,2	9	14	13	49 000	3 300	10 000
2508	+32508	40	80	23	2	2	54	70	50	65,6	10	14	14	57 000	4 000	8 000
2509	32509	45	85	23	2	2										
2510	32510	50	90	23	2	2										
2511	32511	55	100	25	2,5	2										
2512	32512	60	110	28	2,5	2,5										
2513	32513	65	120	31	2,5	2,5										
2514	32514	70	125	31	2,5	2,5										
2515	32515	75	130	31	2,5	2,5										
2516	32516	80	140	33	3	3										
2517	32517	85	150	36	3	3										
2518	32518	90	160	40	3	3										
+2519	32519	95	170	43	3,5	3,5	121	151,5	113,5	145	19	28	17	250 000	18 000	3 200
2520	32520	100	180	46	3,5	3,5	129,5	160			20	30	17	280 000	21 000	3 200
2521	32521	105	190	50	3,5	3,5										
2522	32522	110	200	53	3,5	3,5										
+2524	+32524	120	215	58	3,5	3,5	154,5	191,5	143,5	182,5	24	36	18	420 000	32 000	2 500
2526	32526	130	230	64	4	4	167	204	156	193	24	36	19	435 000	34 000	2 500
2528	32528	140	250	68	4	4										
2530	32530	150	270	73	4	4										
2532	32532	160	290	80	4	4										
2534	32534	170	310	86	5	5										
2536	32536	180	320	86	5	5										
2538	32538	190	340	92	5	5										
2540	32540	200	360	98	5	5										

Продолжение табл. 6

Условное обозначение по ГОСТ 8328-57						Основные размеры по ГОСТ 8328-57						d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
Тип																Диаметр	Полная длина	Количество			
2300	12300	32300	42300	62300	92300	d	D	B	B_1	r	r_1										
Средняя узкая серия																					
2304	12304	32304	42304	62304	92304	20	52	15	4	2	1										
2305	12305	32305	+42305	62305	+92305	25	62	17	4	2	2	39	53	35	49,4	9	9	11	35 000	1 700	10 000
+2306	12306	+32306	+42306Д	62306	92306	30	72	19	5	2	2	46,8	62	42	57,8	10	10	12	45 000	2 300	10 000
+2307К	+12307К	32307	+42307	62307	92307	35	80	21	6	2,5	2	51,5	68,2	46,2	63,3	11	11	12	54 000	2 700	8 000
+2308Л	+12308К	32308	+42308Д	62308	92308	40	90	23	7	2,5	2,5	58,4	77,5	53,5	72	12	12	12	66 000	3 300	8 000
+2309Л	+12309К	+32309	42309	62309	92309	45	100	25	7	2,5	2,5	64	86,5	58,5	81	14	14	12	90 000	4 500	6 300
+2310К	12310	+32310	+42310Л	+62310Л	92310	50	110	27	8	3	3	70,2	95	65	89,6	15	15	12	100 000	5 300	6 300
+2311К	+12311	+32311	42311	62311	92311	55	120	29	9	3	3	77	104,5	70,5	98	17	17	12	132 000	7 000	6 300
+2312К	12312	32312	+42312К	62312	92312	60	130	31	9	3,5	3,5	82	113	77	106,5	18	18	13	158 000	8 500	5 000
+2313К	12313	+32313	42313	62313	92313	65	140	33	10	3,5	3,5	92,3	121,5	83,5	114,6	19	19	13	170 000	9 200	5 000
+2314К	12314	+32314	+42314К	62314	+92314	70	150	35	10	3,5	3,5	97,8	130	90	123	20	20	14	200 000	11 000	5 000
+2315Л	12315	+32315	+42315	+62315	92315	75	160	37	11	3,5	3,5	103,7	139,5	95,5	130	22	22	13	230 000	12 500	4 000
+2316К	12316К	+32316Л	42316	62316	92316	80	170	39	11	3,5	3,5	111,8	147	103	139	22	22	14	240 000	13 500	4 000
+2317Л	12317	+32317	+42317К1	62317	+92317К1	85	180	41	12	4	4	115,5	156	108	147	24	24	14	290 000	16 000	4 000
+2318К	+12318Л	+32318	42318	+62318	92318	90	190	43	12	4	4	125	165	115	156	25	25	14	320 000	17 500	3 200
+2319К	12319	32319	42319	62319	92319	95	200	45	13	4	4	132	173,5	121,5	163,5	26	26	14	340 000	19 000	3 200
+2320К	+12320	+32320	+42320К1	62320	+92320К1	100	215	47	13	4	4	140,5	185,5	129,5	175	28	28	14	400 000	22 000	3 200
2321	12321	32321	42321	62321	92321	105	225	49	13	4	4	149	195	135	181	30	30	14	460 000	25 500	2 500
+2322Л	12322	+32322	+42322	62322	92322	110	240	50	14	4	4	155	207	143	195	32	32	14	520 000	28 500	2 500
+2324	12324	+32324	+42324	62324	92324	120	260	55	14	4	4	170	226	154	213	36	36	14	650 000	36 500	2 500
+2326	12326	+32326	+42326	62326	92326	130	280	58	14	5	5	182	243	167	230	38	38	14	730 000	40 000	2 000
2328	12328	+32328	+42328К1	62328	+92328	140	300	62	15	5	5	196	260	180	245	40	40	14	800 000	45 500	2 000
2330	12330	32330	42330	62330	92330	150	320	65	15	5	5	210	277	193	262	42	42	14	820 000	50 000	2 000
2332		+32332	+42332		92332	160	340	68		5	5	225	292	208	273	42	42	15	950 000	54 000	2 000
2334		+32334	42334		92334	170	360	72		5	5	238	310	220	—	45	45	15	1000 000	62 000	1 600
2336		+32336	+42336Г2		92336	180	380	75		5	5	249	330	230	307	50	50	15	1260 000	77 000	1 600
2338		32338	42338		92338	190	400	78		6	6										
2340		+32340	+42340		92340	200	420	80		6	6	—	360	252	340	54	54	15	1440 000	89 000	1 600

Продолжение табл. 6

Условное обозначение по ГОСТ 8328-57							Основные размеры по ГОСТ 8328-57						d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
2600	12600	32600	42600	52600	62600	92600	d	D	B	B_1	r	r_1					Диаметр	Полная длина	Количество			
Средняя широкая серия																						
2605	12605	+32605	42605			92605	25	62	24		2	2	39	53	35	—	9	14	11	46 000	2 800	10000
2606	12606	32606	+42606Б			92606	30	72	27		2	2	46,2	62	42	—	10	14	12	54 000	3 400	10000
2607Л	12607	+32607Л	+42607Л			92607	35	80	31		2,5	2	50,8	68,2	46,2	63	11	15	12	66 000	3 800	8 000
2608	12608	+32608	42608			92608	40	90	33		2,5	2,5	57,8	77,5	53,5	72	12	18	12	84 000	5 200	8 000
+2609	+12609К	32609	42609			92609	45	100	36		2,5	2,5	64	86,5	58,5	81	14	20	12	124 000	6 800	6 300
2610	12610	32610	42610	52610	62610	92610	50	110	40	8	3	3	71	95	65	89,4	15	25	12	137 000	9 200	6 300
2611	12611	32611	42611	52611	62611	92611	55	120	43	9	3	3	76	104,5	70,5	98,2	17	24	12	158 000	10 000	5 000
+2612К	12612	+32612	+42612	52612	+62612	92612	60	130	46	9	3,5	3,5	81,6	113	77	106,5	18	26	13	196 000	12 500	5 000
2613	12613	+32613	+42613	52613	+62613	92613	65	140	48	10	3,5	3,5	91	121,5	83,5	114,6	19	28	13	220 000	14 000	4 000
2614	12614	32614	42614	52614	62614	92614	70	150	51	10	3,5	3,5	97	130	90	123	20	30	14	265 000	17 000	4 000
2615	12615	+32615	+42615	52615	62615	+92615	75	160	55	11	3,5	3,5	102,2	139,5	95,5	130	22	34	13	310 000	20 000	4 000
2616	12616	+32616	+42616	52616	62616	92616	80	170	58	11	3,5	3,5	111	147	103	139	22	34	14	330 000	21 500	4 000
2617	12617	+32617К1	42617	52617	62617	+92617	85	180	60	12	4	4	114,5	156	108	147	24	36	14	380 000	25 000	3 200
2618	12618	32618	+42618Г1	+52618Г1	62618	92618	90	190	64	12	4	4	124	165	115	155	25	36	14	400 000	26 000	2 500
2619Л	12619	32619	42619	52619	62619	92619	95	200	67	13	4	4	132	173,5	121,5	163,5	26	40	14	460 000	30 000	2 500
2620	12620	32620	+42620	52620	62620	92620	100	215	73	13	4	4	139	185,5	129,5	175	28	44	16	540 000	36 000	2 500
2622	12622	+32622	+42622	52622	62622	92622	110	240	80	14	4	4	153	207	143	195	32	52	14	730 000	48 000	2 500
2624	12624	+32624	+42624	+52624	62624	92624	120	260	86	14	4	4	167	226	154	213	36	58	13	890 000	56 000	2 500
+2626	12626	32626	+42626	+52626	62626	92626	130	280	93	14	5	5	181	243	167	229	38	62	14	1 070 000	69 000	2 000
2628	12628	32628	42628	52628	62628	92628	140	300	102	15	5	5	196	260	180	245	40	65	14	1 100 000	76 000	2 000
2630	12630	+32630	+42630Г2	+52630Г2	62630	92630	150	320	108	15	5	5	210	277	193	262	42	65	14	1 260 000	80 000	1 600
2632	12632	32632	42632			92632	160	340	114		5	5	225	292	208	273	45	75	14	1 340 000	92 000	1 600
2634	12634	+32634	42634			92634	170	360	120		5	5	229	313	217	291	48	80	14	1 660 000	113 000	1 300
2636	12636	32636	42636			92636	180	380	126		5	5	253	328	232	307	48	80	15	1 720 000	122 000	1 300

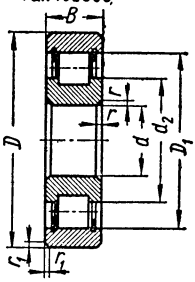
Продолжение табл. 6

Условное обозначение по ГОСТ 8328-57 Тип					Основные размеры по ГОСТ 8328-57						d_2	D_1	d_1	D_2	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
2400	32400	42400	62400	92400	d	D	B	B_1	r	r_1					Диаметр	Полная длина	Количество			
Тяжелая серия																				
2406	32406	42406	62406	92406	30	90	23	7	2,5	2,5										
2407	32407	42407	62407	92407	35	100	25	8	2,5	2,5	59	83	53	76	15	15	11	96 000	4 800	6 300
2408	32408	42408	62408	92408	40	110	27	8	3	3	64,8	92	58	84	17	17	11	123 000	6 300	6 300
2409	32409	42409	62409	92409	45	120	29	8	3	3	71,8	100,5	64,5	92,3	18	18	11	140 000	7 100	6 300
2410	+32410	42410	62410	92410	50	130	31	9	3,5	3,5	78,8	110,8	70,8	101,6	20	20	11	170 000	8 700	5 000
+2411	32411	42411	62411	92411	55	140	33	10	3,5	3,5	85	117,2	77,2	108	20	20	12	180 000	9 500	5 000
2412	+32412Л	+42412Л	62412	+92412К	60	150	35	10	3,5	3,5	91	127	83	119	22	22	12	220 000	11 500	4 000
+2413	+32413	+42413	62413	92413	65	160	37	11	3,5	3,5	97,6	135,3	89,3	127	23	23	12	240 000	12 500	4 000
2414	+32414	+42414	+62414	92414	70	180	42	12	4	4	107,4	152	100	142	26	26	12	310 000	16 000	4 000
2415	32415	+42415	+62415	92415	75	190	45	13	4	4	115	160,5	104,5	148	28	28	12	360 000	19 000	4 000
+2416	+32416	42416	62416	92416	80	200	48	13	4	4	120,5	170	110	160	30	30	12	400 000	22 000	3 200
2417	+32417	+42417	+62417	+92417К1	85	210	52	14	5	5	125	177	113	165	32	32	12	460 000	24 000	3 200
2418	+32418	42418	62418	92418	90	225	54	14	5	5	137	191,5	123,5	178	34	34	12	520 000	27 000	2 500
2419	+32419К1	42419	62419	92419	95	240	55	15	5	5	145,5	201,5	133,5	189	34	34	13	540 000	30 000	2 500
2420	32420	+42420	62420	92420	100	250	58	16	5	5	153,5	211	139	195	36	36	13	630 000	34 000	2 500
2421	+32421	42421	62421	92421	105	260	60	16	5	5	159,5	220,5	144,5	206,5	38	38	13	670 000	38 000	2 500
2422	+32422К1	42422	62422	92422	110	280	65	17	5	5	171	235	155	220	40	40	13	760 000	42 000	2 500
2424	+32424К1	42424	62424	92424	120	310	72	17	6	6	188	260	170	243	45	45	13	980 000	54 000	2 000
	+32426К1	+42426К1	62426	+92426К1	130	340	78	18	6	6	202	289	185	272	52	52	12	1 260 000	67 000	2 000
	+32428К1	+42428К	62428	+92428К1	140	360	82	18	6	6	219	302	198	278	54	54	12	1 340 000	71 200	2 000
	32430	**42430**	62430	92430	150	380	85	20	6	6										

7. Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами с двумя запорными шайбами без сепаратора

Размеры в *мм*

Тип 102000

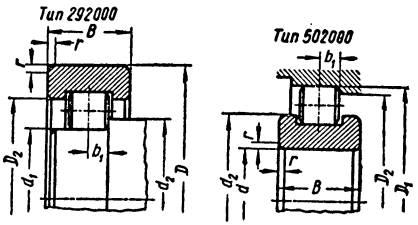


Условное обозначение по ГОСТ 8328-57	Основные размеры по ГОСТ 8328-57					d_2	D_1	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*
	d	D	B	r	r_1			Диаметр	Полная длина	Количество		
Легкая узкая серия												
102 203	17	40	12	1	0,5							
102 204	20	47	14	1,5	1							
+102 205	25	52	15	1,5	1	34,7	44,5	6,5	6,5	18	21 600	1 400
102 206	30	62	16	1,5	1							
102 207	35	72	17	2	1							
+102 208	40	80	18	2	2	56	71,1	10	10	19	56 500	3 700
+102 209	45	85	19	2	2	60	74,3	10	10	20	58 500	4 000
+102 210	50	90	20	2	2	65	80,8	10	10	22	62 500	4 300
+102 211	55	100	21	2,5	2	71	88,5	11	11	22	72 500	5 000
+102 212	60	110	22	2,5	2,5	78,4	97,5	12	12	22	76 000	6 000
102 213	65	120	23	2,5	2,5							
102 214	70	125	24	2,5	2,5							
102 215	75	130	25	2,5	2,5							
102 216	80	140	26	3	3							
102 217	85	150	28	3	3							
102 218	90	160	30	3	3							
102 219	95	170	32	3,5	3,5							
102 220	100	180	34	3,5	3,5							
102 221	105	190	36	3,5	3,5							
102 222	110	200	38	3,5	3,5							
102 224	120	215	40	3,5	3,5							
102 226	130	230	40	4	4							
102 228	140	250	42	4	4							

Продолжение табл. 7

Условное обозначение по ГОСТ 8328-57	Основные размеры по ГОСТ 8328-57					d_2	D_1	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ
	d	D	B	r	r_1			Диаметр	Полная длина	Количество		
						Средняя узкая серия						
102 304	20	52	15	2	1	32,3	44,4	8	8	14	28 000	1 700
102 305	25	62	17	2	2	39	53	9	9	15	38 200	2 300
+102 306	30	72	19	2	2	46,8	62	10	10	16	50 000	3 100
+102 307	35	80	21	2,5	2	51,5	68.2	11	11	16	57 000	3 600
+102 308	40	90	23	2,5	2,5	58,4	77,5	12	12	17	72 500	4 600
102 309	45	100	25	2,5	2,5							
+102 310	50	110	27	3	3	70,2	95	14,5	15	17	116 000	7 200
102 311	55	120	29	3	3	77	104,5	17	17	15	135 000	8 00
102 312	60	130	31	3,5	3,5							
+102 313	65	140	33	3,5	3,5	92,3	121,5	19	19	16	152 000	11 300
+102 314	70	150	35	3,5	3,5	97,8	130	20	20	17	210 000	13 400
102 315	75	160	37	3,5	3,5							
+102316	80	170	39	3,5	3,5	118,8	147	22	22	17	250 000	16 500
102 317	85	180	41	4	4							
102 318	90	190	43	4	4							
102 319	95	200	45	4	4							
102 320	100	215	47	4	4							
102 321	105	225	49	4	4							
102 322	110	240	50	4	4							
102 324	120	260	55	4	4							
102 326	130	280	58	5	5							
102 328	140	300	62	5	5							
102 330	150	320	65	5	5							
						Тяжелая серия						
102 406	30	90	23	2,5	2,5							
102 407	35	100	25	2,5	2,5							
+102 408	40	110	27	3	3	68	94	17	17	14	133 000	8 000
102 409	45	120	29	3	3							
102 410	50	130	31	3,5	3,5							
102 411	55	140	33	3,5	3,5							
102 412	60	150	35	3,5	3,5							
102 413	65	160	37	3,5	3,5							
102 414	70	180	42	4	4							
102 415	75	190	45	4	4							
+102 416	80	200	48	4	4	120,5	170	30	30	14	425 000	25 800
102 417	85	210	52	5	5							
102 418	90	225	54	5	5							
102 419	95	240	55	5	5							
102 420	100	250	58	5	5							

8. Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами без внутреннего или наружного кольца



Условное обозначение подшипника по ГОСТ 5377-60		Основные размеры по ГОСТ 5377-60 в *мм*								
292000	502000	*d*	*D*	*B*	b_1	d_1	d_2	D_1	D_2	*r*
					Легкая серия					
+292202К	502202	15	35	11	2,5	20	22,4	30	27,6	1
+292203К	502203	17	40	12	2,75	22,9	25,3	33,9	31,4	1,5
+292204К	502204	20	47	14	3,25	27	29,8	40	37,3	1,5
+292205	502205	25	52	15	3,25	32	34,9	45	42,3	1,5
+292206	502206	30	62	16	3,75	38,5	41,8	53,5	50,5	1,5
+292207	+502207	35	72	17	4,5	43,8	47,4	61,8	59	2
+292208	+502208К	40	80	18	5	50	54,2	70	66,2	2
+292209	502209	45	85	19	5	55	59	75	71,2	2
+292210Б	502210	50	90	20	5	60,4	64,1	80,4	77	2
+292211Л	+502211Д	55	100	21	5,5	66,5	70	88,5	85	2,5
292212	502212	60	110	22	6	73,5	77,6	97,5	93,2	2,5
292213	502213	65	120	23	6,5	79,6	84	105,6	101	2,5
292214	502214	70	125	24	6,5	84,5	88,6	110,5	105,8	2,5
+292215К	502215	75	130	25	7	88,5	92,9	116,5	111,4	2,5
292216Л	502216	80	140	26	7,5	95,3	100	125,3	119,8	3
292217	502217	85	150	28	8	101,8	107	133,8	129	3
+292218	+502218Л	90	160	30	9	107	114,2	143	136,4	3
292219	502219	95	170	32	9,5	113,5	120	151,5	145,5	3,5
+292220	+502220	100	180	34	10	120	128	160	152,8	3,5
292221	502221	105	190	36	10,5	126,8	135	168,8	161,2	3,5
292222	502222	110	200	38	11,5	132,5	141,5	178,5	170,2	3,5
292224	502224	120	215	40	12	143,5	153	191,5	183,5	3,5
292226	502226	130	230	40	12	156	165,5	204	195	4
292228	502228	140	250	42	13	169	179,5	221	211,5	4
292230	502230	150	270	45	14	182	193	238	228	4
292232	502232	160	290	48	16	193	203	257	247	4
292234	502234	170	310	52	16	208	219,8	272	262	5
292236	502236	180	320	52	16	218	230,5	282	270	5
292238	502238	190	340	55	17	231	244,5	299	286,5	5
292240	502240	200	360	58	18	244	258	316	302,5	5
292244	502244	220	400	65	20	270	286	350	335	5

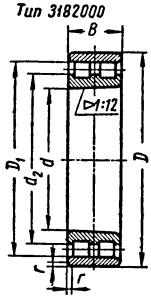
Примечания: 1. Расчетные данные *C*, $Q_{ст}$ и *n* см. в табл. 6 на стр. 54 по внутреннему диаметру *d*.

2. Твердость вала и корпуса под ролики не должна выходить за пределы *HRC* 60.

9. Роликоподшипники двухрядные с короткими цилиндрическими роликами (с коническим отверстием)

Размеры в *мм*

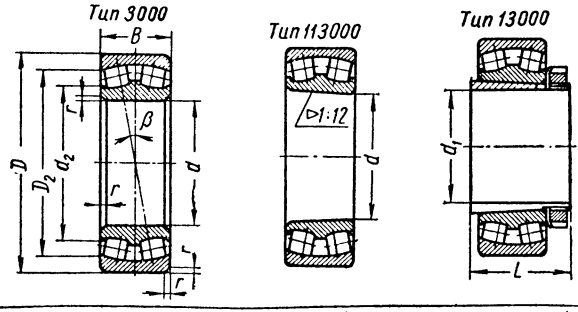
Тип 3182000



Условное обозначение по ГОСТ 7634-56	Основные размеры по ГОСТ 7634-56				d_2	D_1	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	B	r			Диаметр	Полная длина	Количество в одном ряду			
					Особо легкая серия							
+ 3182105	25	47	16	1	33,4	41,4	5	5	18	23 000	1 700	10 000
+ 3182106	30	55	19	1,5	39,4	49	6	6	18	29 000	2 500	10 000
+ 3182107	35	62	20	1,5	45,5	55,2	6	6	20	31 000	2 800	8 000
+ 3182108	40	68	21	1,5	50,6	61	6,5	6,5	21	36 000	3 500	8 000
+ 3182109	45	75	23	1,5	56,3	67,5	7	7	21	49 500	4 100	6 300
+ 3182110	50	80	23	1,5	61,3	72,5	7	7	22	51 500	4 300	6 300
+ 3182111	55	90	26	2	68,2	81	8	8	22	58 000	5 700	6 300
+ 3182112	60	95	26	2	73,3	86	8	8	24	71 000	6 200	6 300
3182113	65	100	26	2								
+ 3182114	70	110	30	2	85,6	100	9	9	25	92 500	8 300	6 300
+ 3182115	75	115	30	2	90,6	105	9	9	26	95 200	8 600	6 300
+ 3182116	80	125	34	2	97	113	10	10	26	118 000	10 200	4 000
+ 3182117	85	130	34	2	102	118	10	10	27	120 000	10 800	4 000
+ 3182118	90	140	37	2,5	109,4	127	11	11	27	147 000	13 000	4 000
3182119	95	145	37	2,5								
+ 3182120	100	150	37	2,5	119,4	137	11	11	30	157 000	14 500	4 000
3182121	105	160	41	3								
+ 3182122	110	170	45	3	132,6	155	14	14	26	224 000	20 000	3 200
+ 3182124	120	180	46	3	142,6	165	15	15	25	257 000	22 000	3 200
+ 3182126	130	200	52	3	156,4	182	16	16	26	293 000	26 200	3 200
+ 3182128	140	210	53	3	166,4	192	16	16	28	317 000	28 500	2 500
+ 3182130	150	225	56	3,5	178	205	17	17	28	320 000	32 000	2 500
+ 3182132	160	240	60	3,5	190	219	18	18	26	380 000	34 000	2 500
+ 3182134	170	260	67	3,5	204	236	20	20	27	485 000	44 000	2 500
+ 3182136	180	280	74	3,5	218	255	23	23	26	622 000	55 000	2 000
3182138	190	290	75	3,5								
+ 3182140	200	310	82	3,5	242	282	26	26	25	775 000	68 000	2 000
+ 3182144	220	340	90	4	265	310	28	28	26	850 000	83 000	1 600
+ 3182148	240	360	92	4	285	330	28	28	27	950 000	86 500	1 600
+ 3182152	260	400	104	5	312	364	32	32	27	1 170 000	110000	1 600
+ 3182156	280	420	106	5	332	384	32	32	28	1 270 000	115 000	1 600
+ 3182160	300	460	118	5	360	418	36	36	27	1 440 000	140 000	1 300
+ 3182164	320	480	121	5	380	438	36	36	28	1 470 000	150 000	1 000
+ 3182168	340	520	133	6	409	473	40	40	28	1 820 000	180 000	1 000
+ 3182172	360	540	134	6	429	493	40	40	29	1 870 000	188 000	800
3182176	380	560	135	6								
3182180	400	600	148	6								
3182184	420	620	150	6								
3182188	440	650	157	8								
+ 3182192	460	680	163	8	543	623	50	50	29	3 000 000	300 000	400
3182196	480	700	165	8								
31821/500	500	720	167	8								

10. Роликоподшипники радиальные сферические двухрядные

Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 5721-57		Основные размеры по ГОСТ 5721-57				d_2	D_2	Ролики			β	Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
с цилиндрическим отверстием 3000	с коническим отверстием 113 000	d	D	B	r			Наибольший диаметр	Полная длина	Количество в одном ряду				
Особо легкая серия диаметров 1, особо широкая														
3003124	3113124	120	180	46	3									
3003126	3113126	130	200	52	3									
3003128	3113128	140	210	53	3									
3003130	3113130	150	225	56	3,5									
3003132	3113132	160	240	60	3,5									
3003134	3113134	170	260	67	3,5									
3003136	3113136	180	280	74	3,5									
3003138	3113138	190	290	75	3,5									
3003140	3113140	200	310	82	3,5									
3003144	3113144	220	340	90	4									
+3003148	3113148	240	360	92	4	279	318	26	36	30	9°17′	1 350 000	92 000	630
3003152	3113152	260	400	104	5									
+3003156	3113156	280	420	106	5	326	372	30	41,5	30	9°27′	1 800 000	123 000	630
+3003160	3113160	300	460	118	5	351	405	36	42,5	28	9°40′	2 000 000	138 000	500
+3003164	3113164	320	480	121	5	370	430	39	43,6	27	9°59′	2 100 00	148 000	500
3003168	+3113168	340	520	133	6									
3003172	3113172	360	540	134	6									
3003176	3113176	380	560	135	6									
+3003180	3113180	400	600	148	6	462	536	48	53	28	9°30′	3 300 000	232 000	320
3003184	3113184	420	620	150	6									
3003188	3113188	440	650	157	8									
+3003192	3113192	460	680	163	8	534	607	48	63	31	8°45′	4 300 000	310 000	250
3003196	3113196	480	700	165	8									
30031/500	31131/500	500	720	167	8									

Продолжение табл. 10

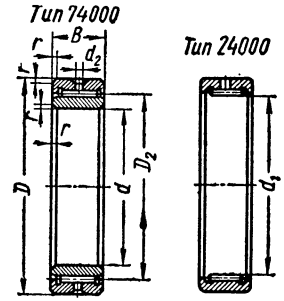
Условное обозначение по ГОСТ 5721-57 и ГОСТ 8545-57			Основные размеры по ГОСТ 5721-57 и ГОСТ 8545-57					L	d_2	D_2	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
с цилиндрическим отверстием тип 3000	с коническим отверстием тип 113000	На закрепительной втулке тип 13000	d	D	B	d_1	r					Наибольший диаметр	Полная длина	Количество в одном ряду			
Легкая широкая серия																	
3508	113508	13507	40	80	23	35	2	36									
3509	113509	13508	45	85	23	40	2	39									
3510	113510	13509	50	90	23	45	2	42									
3511	113511	13510	55	100	25	50	2,5	45									
3512	113512	13511	60	110	28	55	2,5	47									
3513	113513	13512	65	120	31	60	2,5	50									
+3514	113514		70	125	31		2,5		88,5	108	10°9′	12,5	11,2	21	134 000	8 700	3200
3515	113515	13513	75	130	31	65	2,5	55	94,5	114	9°41′	12,5	11,2	21	134 000	8 700	3200
+3516	+113516	+13514	80	140	33	70	3	59	99	120,8	9°30′	14	12	21	188 000	14 000	3200
3517	113517	13515	85	150	36	75	3	63	105,5	130	9°39′	15,5	13	20	200 000	15 500	2500
+3518	+113518	+13516	90	160	40	80	3	65	112	138,8	10°04′	17	14,2	18	240 000	17 500	2500
3519	113519	13517	95	170	43	85	3,5	68	118	148	10°10′	19	15,6	19	310 000	22 000	2500
+3520	+113520	+13518	100	180	46	90	3,5	71	125	156,2	10°20′	20	16,6	19	340 000	24 000	2000
+3522	+113522	+13520	110	200	53	100	3,5	77	138	173,4	10°41′	23	19,2	18	420 000	31 000	2000
+3524	+113524	+13522	120	215	58	110	3,5	88	149	187,8	10°48′	25	21	18	520 000	37 500	2000
+3526	+113526	+13523	130	230	64	115	4	92	161	201	11°01′	26	23,2	19	630 000	46 000	1600
+3528	+113528	+13525	140	250	68	125	4	97	174	220	10°50′	29,5	24,6	18	730 005	52 500	1600
+3530	113530	13527	150	270	73	135	4	111	188	236	10°50′	31	26,4	18	800 000	58 000	1300
+3532	+113532	+13528	160	290	80	140	4	119	200	252	11°8′	34	29	18	980 000	71 000	1300
+3534	113534	+13530	170	310	86	150	5	122	213	269	11°14′	36	31	18	1 070 000	81 000	1300
+3536	+113536	+13532	180	320	86	160	5	129	224	279	10°45′	35,5	31,1	19	1 160 000	84 000	1000
+3538	113538	13534	190	340	92	170	5	136	238	296	10°57′	37	33,2	19	1 126 000	91 000	1000
+3540	113540	+13536	200	360	98	180	5	144	251	312	11°02′	39	35,4	19	1 440 000	106 000	1000
+3544	+113544		220	400	108		5		277	345	11°02′	44	38,8	19	1 630 000	132 000	800
3548	113548		240	440	120		5										
3552	113552		260	480	130		6										
3556	+113556		280	500	130		6		355	431	10°39′	52	46,8	20	2 640 000	168 000	630
3560	113560		300	540	140		6										
3564	113564		320	580	150		6										
3568	113568		340	620	165		8										
3572	113572		360	650	170		8										
3576	113576		380	680	175		8										
3580	113580		400	720	185		8										

Продолжение табл. 10

Условное обозначение по ГОСТ 5721-57 и ГОСТ 8545-57			Основные размеры по ГОСТ 5721-57 и ГОСТ 8545-57					L	d_2	D_2	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
с цилиндрическим отверстием тип 3000	с коническим отверстием тип 113000	на закрепительной втулке тип 13000	d	D	B	d_1	r					Наибольший диаметр	Полная длина	Количество в одном ряду			
Средняя широкая серия																	
+3608	113608	13607	40	90	33	35	2,5	46	55	74	15°36′	13,5	11,5	13	120 000	7 800	5000
+3609	113609	13608	45	100	36	40	2,5	50	61	83	15°13′	15	12,6	13	148 000	9 600	4000
+3610	113610	13609	50	110	40	45	3	55	68	91	15°25′	16	13,98	14	182 000	11 500	4000
+3611	113611	13610	55	120	43	50	3	59	73	100	15°11′	18	15	13	210 000	13 200	4000
+3612	113612	13611	60	130	46	55	3,5	62	79	108	15°	19,5	16	13	240 000	15 500	3200
3613	113613	13612	65	140	48	60	3,5	65	87	118	14°11′	21,5	17	13	290 000	18 500	3200
+3614	113614		70	150	51		3,5		92	127	13°54′	23	18,4	13	330 000	21 500	3200
+3615	113615	+13613	75	160	55	65	3,5	73	98	136	14°11′	24,5	19,5	13	370 000	24 200	2500
+3616	+113616	+13614	80	170	58	70	3,5	78	108	144	14°02′	24,5	20,9	13	420 000	26 000	2500
+3617	113617	13615	85	180	60	75	4	82	113	152	13°44′	26	21,6	14	460 000	31 000	2500
+3618	+113618	13616	90	190	64	80	4	86	120	159	13°57′	27	22,96	14	500 000	34 500	2500
3619	113619	13617	95	200	67	85	4	90	125	167	13°54′	28,5	24,1	14	570 000	38 500	2000
+3620	+113620	+13618	100	215	73	90	4	97	135	182	13°57′	31	26,4	14	670 000	45 000	2000
+3622	+113622	+13620	110	240	80	100	4	105	149	202	13°50′	35	28,8	14	850 000	56 000	1600
+3624	+113624	+13622	120	260	86	110	4	112	162	219	13°39′	38	31,2	14	980 000	64 000	1600
+3626	113626	13623	130	280	93	115	5	121	174	236	13°45′	41	33,6	14	1 160 000	77 000	1600
+3628	113628	13625	140	300	102	125	5	131	185	248	14°19′	42	36,8	14	1 260 000	87 000	1300
+3630	113630	13627	150	320	108	135	5	139	201	263	14°13′	42	39	15	1 440 000	99 000	1300
+3632	+113632	+13628	160	340	114	140	5	147	213	280	14°06′	45	41,2	15	1 660 000	112 000	1300
+3634	+113634	+13630	170	360	120	150	5	154	228	297	13°59′	46	43,5	16	1 820 000	130 000	1000
+3636	+113636	+13632	180	380	126	160	5	161	238	313	13°53′	50	45,7	15	2 000 000	138 000	1000
+3638	113638	+13634	190	400	132	170	6	169	255	329	13°40′	50	48,2	16	2 200 000	158 000	1000
+3640	+113640	+13636	200	420	138	180	6	176	269	345	13°33′	52	50,2	16	2 400 000	168 000	800
+3644	113644		220	460	145		6		296	379	13°	56	52,2	16	2 680 000	190 000	800
3648	113648		240	500	155		6		323	413	13°6′	60	55,8	16	2 800 000	215 000	630
+3652	113652		260	540	165		8		351	447	12°36′	64	59,4	17	3 800 000	262 000	630
+3656	+113656		280	580	175		8		377	480	12°40′	68	63	17	4 100 000	300 000	500
3660	113660		300	620	185		10										
3664	113664		320	670	200		10										
3668	113668		340	710	212		10										
3672	113672		360	750	224		10										
3676	113676		380	780	230		10										
+3680	113680		400	820	243		10		539	677	12°18′	92	81	18	7 400 000	580 000	400

11. Роликоподшипники игольчатые

Размеры в *мм*

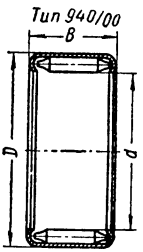


Условное обозначение по ГОСТ 4657-56		Основные размеры по ГОСТ 4657-56					D_2	Смазочное отверстие d_2	Игольчатый ролик			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
74000	24000	d	D	B	D_1	r			Диаметр	Полная длина	Количество			
Сверхлегкая серия, серия диаметров 8, серия ширин 4														
4074820	4024820	100	125	25	110	1,5		3						
4074821	4024821	105	130	25	115	1,5		3						
4074822	4024822	110	140	30	120	1,5		3						
4074824	+4024824	120	150	30	130	1,5	131,6	3	4	22	105	166 000	8 500	800
4074826	4024826	130	165	35	145	2		3						
4074828	4024828	140	175	35	155	2		3						
4074830	4024830	150	190	40	165	2		4						
4074832	4024832	160	200	40	175	2		4						
4074834	4024834	170	215	45	190	2		4						
4074836	4024836	180	225	45	200	2		4						
Сверхлегкая серия, серия диаметров 9, серия ширин 4														
4074902	4024902	15	28	13	20	0,5		2						
4074903	4024903	17	30	13	22	0,5		2						
4074904	4024904	20	37	17	25	0,5		3						
4074905	4024905	25	42	17	30	0,5		3						
4074906	4024906	30	47	17	35	0,5		3						
4074907	4024907	35	55	20	42	1		3						

4074908	4024908	40	62	22	48	1		3						
4074909	4024909	45	68	22	52	1		3						
4074910	4024910	50	72	22	58	1		3						
4074911	4024911	55	80	25	65	1		3						
								3						
4074912К	4024912	60	85	25	68	1,5	76,2	3	3	18	81	90 000	3 850	1300
4074913	4024913	65	90	25	72	1,5		3						
4074914	4024914	70	100	30	82	1,5	86,2	3	3	22	92	124 000	5 600	1300
4074915	4024915	75	105	30	85	1,5		3						
4074916	4024916	80	110	30	90	1,5	101	3	3	24	107	150 000	7 000	1000
+4074917	4024917	85	120	35	100	2								
+4074918	+4024918	90	125	35	105	2	106,2	3	3	24	113	146 000	7 100	1000
+4074919	4024919	95	130	35	110	2	112	3	3	24	119	152 000	7 500	1000
+4074920	4024920	100	140	40	115	2	119	3	3	30	126	196 000	10 000	1000
+4074922	+4024922	110	150	40	125	2	126,4	3	3,5	30	115	212 000	10 800	800
+4074924	4024924	120	165	45	140	2	141,6	3	4	35	113	264 000	13 900	800
+4074926	+4024926	130	180	50	150	2,5	152	3	5	40	97	320 000	17 300	630
+4074928	4024928	140	190	50	160	2,5	162	4	5	40	103	335 000	18 400	630
4074930	4024930	150	210	60	175	3		4						
4074932	4024932	160	220	60	185	3		4						
4074934	4024934	170	230	60	195	3		4						
Сверхлегкая серия, серия диаметров 9, серия ширин 3														
3074936	3024936	180	250	52	210	3		4						
3074938	3024938	190	260	52	220	3		4						
3074940	3024940	200	280	60	234	3,5		5						
3074944	3024944	220	300	60	255	3,5		5						
3074948	3024948	240	320	60	274	3,5		5						
3074952	3024952	260	360	75	304	3,5	307	5	5	50	194	680 000	45 500	320
3074956	3024956	280	380	75	325	3,5		5						
Особо легкая серия, серия диаметров 1, серия ширин 4														
+4074103	+4024103	17	35	18	24	0,5	24,8	3	2	12	40	25 600	800	5000
+4074104	+4024104	20	42	22	28	1	29,0	3	2,5	16	28	38 500	1 260	5000
+4074105	+4024105	25	47	22	34	1	34,7	3	3	16	38	42 500	1 460	4000
+4074106	+4024106	30	55	25	40	1,5	41,2	3	3	18	45	55 000	2 000	3200
+4074107	+4024107	35	62	27	46	1,5	47,2	3	3	20	51	67 500	2 500	3200
+4074108	+4024108	40	68	28	52	1,5	53,4	3	3	20	57	73 000	2 800	2500
+4074109	+4024109	45	75	30	58	1,5	58,6	3	3	22	63	87 000	3 500	2500
+4074110	+4024110	50	80	30	62	1,5	63,3	3	3	22	68	97 000	3 800	2000
+4074111	+4024111	55	90	35	70	2	71	3	3	24	76	110 000	4 650	1600
+4074112	+4024112	60	95	35	75	2	75,8	3	3	24	81	115 000	5 000	1600
+4074113	+4024113	65	100	35	80	2	81,2	3	3	24	86	122 000	5 400	1300
+4074114	+4024114	70	110	40	88	2	89,2	3	3	30	95	146 000	6 700	1300
+4074115	+4024115	75	115	40	92	2	93,2	3	3	30	99	152 000	7 100	1300
+4074116	4024116	80	125	45	100	2	101,4	3	3,5	30	92	178 000	8 500	1000
+4074117	4024117	85	130	45	105	2	106,4	3	3,5	30	97	183 000	8 900	1000

Примечание. Твердость поверхности дорожек качения на валу для подшипников без внутреннего кольца должна быть не менее *НЯС* 60

12. Подшипники игольчатые с одним штампованным наружным кольцом
Размеры в *мм*



Условное обозначение подшипника по ГОСТ 4060-48	Основные размеры по ГОСТ 4060-48			Игольчатые ролики		
	d	*D*	*B*	Диаметр	Рабочая длина	Количество
			Узкая серия			
+941/6	6	10	7	1,45	3,2	16
+941/7	7	12	8	1,83	3,6	15
941/8	8	14	10			
941/9	9	15	10			
941/10	10	16	10			
941/12	12	17	12	1,57	7,1	27
+941/15	15	20	12	1,57	7,1	33
+941/17	17	23	14	2,06	8,8	29
+941/20	20	26	14	2,03	9	34
941/22	(22)	28	14			
+941/25	25	32	16	2,46	9,9	35
941/28	(28)	36	16			
941/30	30	38	16			
941/32	(32)	40	16			
			Нормальная серия			
942/6	6	10	9			
942/7	7	12	10			
+942/8	8	14	12	2,1	6,6	15
942/9	9	15	13			
942/10	10	16	15			
942/12	12	17	15			
+942/15	15	20	16	1,66	11,3	31
942/17	17	23	18			
+942/20	20	26	20	2,03	14,9	34
942/22	(22)	28	20			
942/25	25	32	22			
942/28	(28)	36	24			
+942/30	30	38	24	3,04	16,9	34
+942/32	(32)	40	24	3,05	16,9	36
+942/35	35	43	25	3,05	17,9	39
			Широкая серия			
943/6	6	10	11			
+943/7	7	12	13	1,83	8,6	15
943/8	8	14	14			
943/9	9	15	16			
943/10	10	16	17			
943/12	12	17	18			
943/15	15	20	20			
943/17	17	23	22			
+943/20	20	26	25	2,03	19,9	34
943/22	(22)	28	25			

Продолжение табл. 12

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 4060-48	Основные размеры по ГОСТ 4060-48			Игольчатые ролики		
	d	*D*	*B*	Диаметр	Рабочая длина	Количество
+943/25	25	32	25	2,46	18,9	35
943/28	(28)	36	32			
+943/30	30	38	32	3,04	24,9	34
943/32	(32)	40	32			
943/35	35	43	32	3,04	24,9	39
+943/40	40	50	38	3,82	30,4	36
+943/45	45	55	38	3,82	30,4	40
+943/50	50	60	38	3,83	30,4	44

Примечания: 1. Подшипники, указанные в скобках, применять не рекомендуется.

2. Для подачи смазки к подшипнику через корпус на наружном кольце подшипника, по требованию заказчика, может быть сделано отверстие посередине ширины кольца следующих размеров:

Размеры в *мм*

Наружный диаметр *D*						
Св.		10	20	36	50
До	10	20	36	50	60
Диаметр отверстия	1,5	2	2,5	3	5

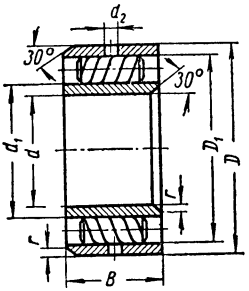
3. Допускаемые отклонения:

Наименование параметров	Допускаемые отклонения
Внутренний диаметр по игольчатым роликам	$\begin{cases} +0{,}06\ мм \\ +0{,}012\ мм \end{cases}$
Ширина *B*	±0,15 *мм*
Вал (дорожка качения:): а) при вращательном движении подшипника	По 2-му классу точности (ОСТ 1022), как для основного вала
б) при колебательном движении малой амплитуды и при статической нагрузке.	По 2-му классу точности (ОСТ 1012), калибр Н;
Посадочная поверхность корпуса: а) изготовленного из стали или чугуна	По 2-му классу точности ОСТ 1022, калибр П
б) изготовленного из алюминия или легкого сплава	По 2-му классу точности ОСТ 1022, калибр Н

4. Твердость поверхности дорожек качения на валу не менее *HRC* 60.

13. Роликоподшипники с витыми роликами

Размеры в *мм*

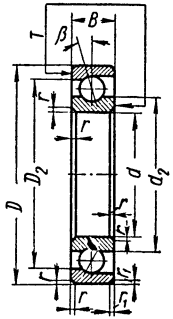


Условное обозначение подшипника по ОСТ 26005	Основные размеры по ОСТ 26005						Смазочное отверстие		Число оборотов в минуту					
									25	50	100	300	500	1000
	d	D	B	d_1	D_1	r	d_2	Количество	Радиальная нагрузка в *кГ* при долговечности 5000 час.					
						Легкая серия								
5206	30	62	28	40	52	1,5								
5207	35	72	30	45	62	1,5								
5208	40	80	35	50	70	2								
5209	45	85	40	55	75	2								
+5210	50	90	44	60	80	2	8	2	2 000	1 600	1 250	720	530	330
5211	55	100	46	65	90	2,5								
+5212	60	110	49	75	100	2,5	8	2	2 700	2 200	1 700	1000	750	450
5213	65	120	52	80	105	2,5								
5214	70	125	60	85	110	2,5								
+5215	75	130	67	90	115	2,5	10	2	4 400	3 500	2 650	1500	1100	700
+5216	80	140	67	95	125	3	10	2	5 000	4 000	3 000	1700	1300	750
+5217	85	150	70	100	135	3	10	2	5 600	4 500	3 500	1900	1400	850
+5218	90	160	70	110	145	3	12	2	5 800	4 700	3 700	2000	1500	900
5219	95	170	76	115	150	3,5								
+5220	100	180	82	120	160	3,5	12	2	7 500	6 000	4 600	2600	1900	1100
+5222	110	200	89	135	180	3,5	14	2	9 200	7 400	5 600	3100	2200	1300
+5224	120	215	98	145	190	4	14	2	10 500	8 500	6 500	3600	2600	1500
5226	130	230	108	155	205	4								
+5228	140	250	120	170	220	4,5	14	2	13 500	11 500	9 600	5000	3800	2000
+5230	150	270	120	180	240	4,5	16	2	14 000	12 500	10 000	5400	4000	2000
+5232	160	290	124	195	255	5	16	2	15 000	12 700	10 500	5900	4100	2200
5234	170	310	137	205	275	5								
5236	180	320	149	215	285	5	18	2						
5240	200	360	175	240	320	6								
5244	220	400	175	270	350	6								
5248	240	440	190	—	—	6								
5252	260	480	204	—	—	6								
5256	280	500	220	—	—	6								
5260	300	540	235	—	—	7								
						Средняя серия								
5305	25	62	28	35	52	1,5								
+5306	30	72	30	38,3	63,7	1,5	6	2	880	750	620	390	300	200
5307	35	80	35	44,5	69,8	1,5	6	2	1 200	1 000	800	500	370	250
5308	40	90	36	50	80	2								
5309	45	100	39	55	90	2								
5310	50	110	44	65	100	2								
5311	55	120	49	70	105	2,5								
5312	60	130	54	75	115	2,5								
5313	65	140	59	85	125	3								
5314	70	150	64	90	135	3								
5315	75	160	68	95	140	3,5								
5316	80	170	68	100	150	3,5								
5317	85	180	73	110	160	4								
5318	90	190	76	115	165	4								
5319	95	200	78	120	175	4								
5320	100	215	83	130	190	4,5								
5322	110	240	95	140	210	5								
5324	120	260	105	155	225	6								
5326	130	280	111	165	245	6								

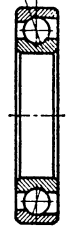
14. Шарикоподшипники радиально-упорные однорядные

Размеры в *мм*

Типы: 36000; β=12°
46000; β=26°
66000; β=36°



Тип 6000 (разъемный)
12°



Условное обозначение по ГОСТ 831-54			Основные размеры по ГОСТ 831-54						d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C		Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*		Предельное число оборотов в минуту
Тип													Тип				
6000	36000	46000	d	D	B	$T_{наиб}$	r	r_1			Диаметр	Количество	36000	46000	36000	46000	
Особо легкая серия																	
6016	36016		6	17	6	6	0,5	0,3									
66017К	36017		7	19	6	6	0,5	0,3	10,2	15,8	3,97	6	3200		110		25 000
6018	36018		8	22	7	7	0,5	0,3									
6019	36019		9	24	7	7	0,5	0,3									
6100	36100	46100	10	26	8	8	0,5	0,3	14,5	21,2	4,76	9	6100		240		25 000
6101Е	36101	46101	12	28	8	8	0,5	0,3	16,6	23,2	4,76	9	6100		240		25 000
6102Е	36102	46102	15	32	9	9	0,5	0,3	20	26,8	5	10	7200		290		25 000
6103	36103	46103	17	35	10	10	0,5	0,3									
6104	36104	46104	20	42	12	12	1	0,3									
		46105	25	47	12	12	1	0,3									
		46106	30	55	13	13	1,5	0,5									

Продолжение табл. 14

Условное обозначение по ГОСТ 831-54			Основные размеры по ГОСТ 831-54						d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C		Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ		Предельное число оборотов в минуту
Тип			d	D	B	$T_{наиб}$	r	r_1			Диаметр	Количество	Тип		36000	46000	
6000	36000	46000											36000	46000			
		46107	35	62	14	14	1,5	0,5									
		46108	40	68	15	15	1,5	0,5									
		46109	45	75	16	16	1,5	0,5									
		46110	50	80	16	16	1,5	0,5									
		46111	55	90	18	18	2	1									
		46112	60	95	18	18	2	1									
		46113	65	100	18	18	2	1									
		+46114Л	70	110	20	20	2	1	82,8	97,7	12,3	19		57 000		3200	6 300
		+46115Л	75	115	20	20	2	1	87,8	102,7	12,3	20		57 000		3400	6 300
		+46116	80	125	22	22	2	1	95	111,5	13,49	20		67 000		4000	5 000
		+46117Л	85	130	22	22	2	1	99,4	115,7	13,49	21		70 000		4300	5 000
		+46118Л	90	140	24	24	2,5	1,2	107,2	123,6	14,29	21		78 000		4800	5 000
		46119	95	145	24	24	2,5	1,2									
		+46120Л	100	150	24	24	2,5	1,2	116	134	15,08	22		88 000		5600	4 000
		46121	105	160	26	26	3	1,5									
		+46122	110	170	28	28	3	1,5	130	152	18,26	20		116 000		7500	4 000
		+46124Л	120	180	28	28	3	1,5	139	161	18,26	22		124 000		8200	3 200
		+46126Л	130	200	33	33	3	1,5	153	179	20,64	22		153 000		10600	3 200
		46128	140	210	33	33	3	1,5									
		+46130Л	150	225	35	35	3,5	2	174	201	22,23	22		170 000		12200	2 500
		46132	160	240	38	38	3,5	2									
		46134	170	260	42	42	3,5	2									
		46136	180	280	46	46	3,5	2									
		46138	190	290	46	46	3,5	2									
		46140	200	310	51	51	3,5	2									
Легкая серия																	
+6023Е	36023		3	10	4	4	0,3	0,3	5,5	7,7	1,59	6	540		17		25 000
6024	36024		4	13	5	5	0,4	0,3									
+6025	36025		5	16	5	5	0,5	0,3	8,1	12,8	3,18	7	2 300		70		25 000
+6026	36026		6	19	6	6	0,5	0,3	10,2	15,8	3,97	6	3 200		110		25 000
+6027	36027		7	22	7	7	0,5	0,3	10,7	17,6	4,76	7	5 100		150		25 000
+6028	36028		8	24	7	7	0,5	0,3	12,1	19	4,76	8	5 600		210		25 000
6029	36029		9	26	8	8	1	0,3									
6200	36200	46200	10	30	9	9	1	0,3									
6201	36201	46201	12	32	10	10	1	0,3									
6202	36202	+46202	15	35	11	11	1	0,3	21,2	29	5,95	10		8 100	420	400	16 000

Продолжение табл. 14

Условное обозначение по ГОСТ 831-54			Основные размеры по ГОСТ 831-54						d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C		Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ		Предельное число оборотов в минуту
Тип													Тип				
6000	36000	46000	d	D	B	$T_{наиб}$	r	r_1			Диаметр	Количество	36000	46000	36000	46000	
6203	+36203Е	46203	17	40	12	12	1	0,5	23,9	33,3	7,14	10	14 000		620		16 000
6204	+36204Л	+46204Л	20	47	14	14	1,5	0,5	28,3	39,5	7,94	11	18 000	16 700	850	780	16 000
	+36205Л	+46205Л	25	52	15	15	1,5	0,5	33,1	43,9	7,94	12	20 000	18 000	920	850	13 000
	+36206Л	+46206	30	62	16	16	1,5	0,5	40,3	51,7	9,53	12	27 000	25 000	1 320	1 220	13 000
	+36207Л	+46207Е	35	72	17	17	2	1	46,9	60,2	11,11	12	35 000	33 000	2 300	1 800	10 000
	+36208Е	+46208Л	40	80	18	18	2	1	52,4	67,6	12,7	12	49 000	42 000	2 400	2 150	10 000
	+36209Л	+46209Л	45	85	19	19	2	1	57,4	72,6	12,7	13	52 000	44 000	2 600	2 350	8 000
	+36210Л	+46210Л	50	90	20	20	2	1	61,8	77,6	12,7	14	54 000	48 000	2 800	2 500	8 000
	+36211Е	+46211Л	55	100	21	21	2,5	1,2	68,7	86,1	14,29	14	64 000	57 000	3 500	3 200	8 000
	+36212Е	+46212Л	60	110	22	22	2,5	1,2	75,7	94,5	15,88	14	76 000	70 000	4 300	4 000	6 300
	36213	+46213Л	65	120	23	23	2,5	1,2	82,5	102,5	16,67	15	—	80 000	—	4 600	6 300
	+36214Л	46214	70	125	24	24	2,5	1,2	87	108	17,46	15	96 000	—	56 00	—	5 000
	36215	+46215Л	75	130	25	25	2,5	1,2	92	113	17,46	16		92 000		5 500	5 000
	+36216Л	+46216Л	80	140	26	26	3	1,5	98,6	121,4	19,05	15	108 000	104 000	6 600	6 100	5 000
	+36217Е	46217	85	150	28	28	3	1,5	106	129	19,84	15	120 000		7 300		4 000
	+36218Е	+46218Л	90	160	30	30	3	1,5	112,4	139	22,23	14	140 000		8 500		4 000
	+31219Л	46219	95	170	32	32	3,5	2	118,2	146,8	23,81	15	158 000		11 000		4 000
	36220	+46220Л	100	180	34	34	3,5	2	124,8	155,2	25,4	15		165 000		10 800	3 200
	36221	46221	105	190	36	36	3,5	2									
	36222	46222Л	110	200	38	38	3,5	2									
	36224	46224	120	215	40	40	3,5	2									
	36226	46226	130	230	40	40	4	2									
	36228	46228	140	250	42	42	4	2									
	36230	46230	150	270	45	45	4	2									
	36232	46232	160	290	48	48	4	2									
	+36234Л	46234	170	310	52	52	5	2,5	221	272	41,28	16	400 000		33 000		2 000
	+36236Л	46236	180	320	52	52	5	2,5	227	273	38,1	16	360 000		28 000		2 000
	36238	46238	190	340	55	55	5	2,5									
	+36240Е	46240	200	360	58	58	5	2,5	255	305	41,28	16	400 000		33 000		1 600
		+46244	220	400	65	65	5	2,5	285	338	44,45	16		420 000		35 000	1 600
		46248	240	440	72	72	5	2,5									

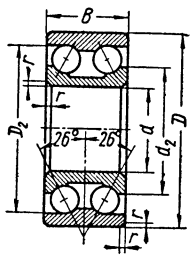
Продолжение табл. 14

Условное обозначение по ГОСТ 831-54			Основные размеры по ГОСТ 831-54						d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C			Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ			Предельное число оборотов в минуту
Тип													Тип			Тип			
36000	46000	66000	d	D	B	$T_{наиб}$	r	r_1			Диаметр	Количество	36000	46000	66000	36000	46000	66000	
Средняя серия																			
+36303Л	46303		17	47	14	14	1,5	0,5	26,3	37,7	9,53	8	2 000			850			13 000
36304	46304		20	52	15	15	2	1											
36305	+46305Л	66305	25	62	17	17	2	1	36,6	50,4	11,51	10		31 000			1 500		10 000
+36306	+46306Л	66306	30	72	19	19	2	1	44,6	59,4	12,3	11	41 000	38 000		1 900	1 900		10 000
36307	+46307Л	66307	35	80	21	21	2,5	1,2	48,9	66,1	14,29	11		46 000			2 500		8 000
+36308Л	+46308Л	66308	40	90	23	23	2,5	1,2	56,3	74,5	15,08	12	60 000	57 000		2 900	3 050		8 000
36309	+46309Е	66309	45	100	25	25	2,5	1,2	61,7	82,6	17,46	11		71 000			3 750		6 300
36310	+46310Л	66310	50	110	27	27	3	1,5	68,7	91,4	19,05	11		80 000			4 500		6 300
36311	+46311	66311	55	120	29	29	3	1,5	74,9	100	20,64	12		99 000			5 700		5 000
36312	+46312Л	66312	60	130	31	31	3,5	2	81,5	108	22,23	12		112 000			6 600		5 000
36313	46313Л	66313	65	140	33	33	3,5	2											
36314	46314	66314	70	150	35	35	3,5	2											
36315	46315	66315	75	160	37	37	3,5	2											
36316	46316	66316	80	170	39	39	3,5	2											
36317	46317	66317	85	180	41	41	4	2											
+36318Л	+46318Л	66318	90	190	43	43	4	2	121	159	31,75	12	220 000	195 000		15 000	13 500		3 200
36319	46319	66319	95	200	45	45	4	2											
36320	46320	66320	100	215	47	47	4	2											
36321	46321	66321	105	225	49	49	4	2											
36322	46322	+66322Л	110	240	50	50	4	2	154	196	41,28	11			260 000			19 000	2 500
36324	46324	66324	120	260	55	55	4	2											
36326	46326	66326	130	280	58	58	5	2,5											
36328	46328	66328	140	300	62	62	5	2,5											
36330	+46330	66330	150	320	65	65	5	2,5	204	265	44,45	13			440 000		37 500		2 000
Тяжелая серия																			
	46405	66405	25	80	21	21	2,5	1,2								54000		2800	8000
	46406	+66406Л	30	90	23	23	2,5	1,2	52,6	69,4	16,67	10				64000		3350	6300
	46407	+66407	35	100	25	25	2,5	1,2	58,3	76,7	18,26	10				80000		4300	6300
	46408	+66408Л	40	110	27	27	3	1,5	65,6	86,4	20,64	10				96000		5300	6300
	46409	+66409Л	45	120	29	29	3	1,5	71,9	95,1	23,02	10				108000		6100	5000
	46410	+66410	50	130	31	31	3,5	2	77,6	102,4	24,61	10							
	46411	66411	55	140	33	33	3,5	2											
	46412	+66412	60	150	35	35	3,5	2	93,2	116,8	26,99	11				132000		8100	4000
	46413	66413	65	160	37	37	3,5	2											
	46414	66414	70	180	42	42	4	2											
	46415	66415	75	190	45	45	4	2											
	+46416	66416	80	200	48	48	4	2	117	163	38,1	10			230 000		14 500		3200
	46417	66417	85	210	52	52	5	2,5											
	+46418	+66418Л	90	225	54	54	5	2,5	135	183	41,28	10			27 000		19 000		2500

15. Шарикоподшипники радиально-упорные двухрядные

Размеры в *мм*

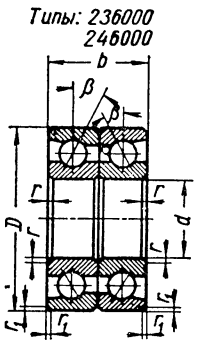
Тип 56000

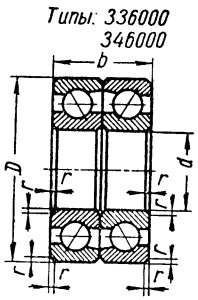


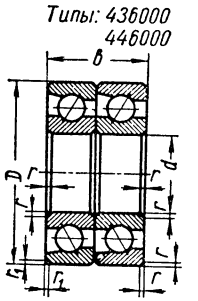
Условное обозначение по ГОСТ 4252-48 тип 56000	Основные размеры по ГОСТ 4252-48				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	B	r			Диаметр	Количество в одном ряду			
					Легкая серия						
3056200	10	30	14	1							
3056201	12	32	15,9	1							
3056202	15	35	15,9	1							
3056203	17	40	17,5	1,5							
+3056204	20	47	20,6	1,5	29,2	39,5	7,14	12	25 000	1 350	10 000
+3056205	25	52	20,6	1,5	34,2	44,6	7,14	14	28 000	1 600	8 000
+3056206	30	62	23,8	1,5	40,7	53,7	8,73	14	38 000	2 400	8 000
+3056207Д	35	72	27	2	43,3	60,7	11,91	12	57 000	3 800	6 300
+3056208	40	80	30,2	2	53,3	70,5	11,11	14	57 000	3 800	6 300
+3056209Л	45	85	30,2	2	58,3	75,5	11,11	15	60 000	4 200	5 000
3056210	50	90	30,2	2							
3056211	55	100	33,3	2,5							
3056212	60	110	36,5	2,5							
3056213	65	120	38,1	2,5							
+3056214Л	70	125	39,7	2,5	88,4	112	15,08	17	110 000	8 800	3 200
3056215	75	130	41,3	2,5							
+3056216	80	140	44,4	3	99,5	126,4	17,46	16	148 000	11 000	3 200
3056217	85	150	49,2	3							
3056218	90	160	52,4	3							
3056219	95	170	55,6	3,5							
3056220	100	180	60,3	3,5							
3056221	105	190	65,1	3,5							
3056222	110	200	69,8	3,5							

16. Шарикоподшипники радиально-упорные сдвоенные

Размеры в *мм*







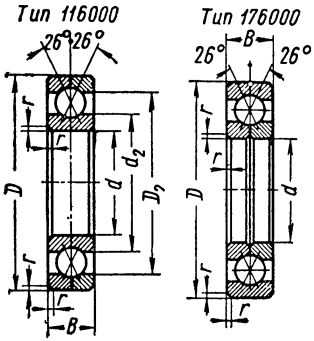
Условное обозначение подшипника по ГОСТ 832-57						Основные размеры по ГОСТ 832-57				
236000	336000	436000	246000	346000	446000	*d*	*D*	*B*	*r*	r_1
				Особо легкая серия						
236 100	336 100	436 100	246 100	346 100	446 100	10	26	16	0,5	0,3
236 101	336 101	436 101	246 101	346 101	446 101	12	28	16	0,5	0,3
236 102	336 102	436 102	246 102	346 102	446 102	15	32	18	0,5	0,3
236 103	336 103	436 103	246 103	346 103	446 103	17	35	20	0,5	0,3
236 104	336 104	436 104	246 104	346 104	446 104	20	42	24	1	0,3
			246 105	346 105	446 105	25	47	24	1	0,3
			246 106	346 106	446 106	30	55	26	1,5	0,5
			246 107	346 107	446 107	35	62	28	1,5	0,5
			246 108	346 108	446 108	40	68	30	1,5	0,5
			246 109	346 109	446 109	45	75	32	1,5	0,5
			246 110	346 110	446 110	50	80	32	1,5	0,5
			246 111	346 111	446 111	55	90	36	2	1
			246 112	346 112	446 112	60	95	36	2	1
			246 113	346 113	446 113	65	100	36	2	1
			246 114	346 114	446 114	70	110	40	2	1
			246 115	346 115	446 115	75	115	40	2	1
			246 116	346 116	446 116	80	125	44	2	1
			246 117	346 117	446 117	85	130	44	2	1
			246 118	346 118	446 118	90	140	48	2,5	1,2
			246 119	346 119	446 119	95	145	48	2,5	1,2
			246 120	346 120	446 120	100	150	48	2,5	1,2
			246 121	346 121	446 121	105	160	52	3	1,5
			246 122	346 122	446 122	110	170	56	3	1,5
			+246 124	346 124	446 124	120	180	56	3	1,5
			+246 126Е	346 126	446 126	130	200	66	3	1,5
			246 128	346 128	446 128	140	210	66	3	1,5
			246 130	346 130	446 130	150	225	70	3,5	2
			246 132	346 132	446 132	160	240	76	3,5	2
			246 134	346 134	446 134	170	260	84	3,5	2
			246 136	346 136	446 136	180	280	92	3,5	2
			246 138	346 138	446 138	190	290	92	3,5	2
			246 140	346 140	446 140	200	310	102	3,5	2
				Легкая серия						
236 200	336 200	436 200	246 200	346 200	446 200	10	30	18	1	0,3
236 201	336 201	+436 201Е	246 201	346 201	446 201	12	32	20	1	0,3
236 202	336 202	436 202	246 202	346 202	446 202	15	35	22	1	0,3
+236 203Е	336 203	+436 203Е	246 203	346 203	446 203	17	40	24	1	0,5
236 204	336 204	+436 204Е	246 204	346 204	446 204	20	47	28	1,5	0,5
+236 205Л	336 205	+436 205Л	246 205	346 205	446 205	25	52	30	1,5	0,5
+236 206Л	336 206	+436 206Е	246 206	346 206	+446 206	30	62	32	1,5	0,5
236 207	336 207	+436 207	246 207	346 207	+446 207Е	35	72	34	2	1

Продолжение табл. 16

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 832-57						Основные размеры по ГОСТ 832-57				
236000	336000	436000	246000	346000	446000	*d*	*D*	*B*	*r*	r_1
+236 208Л	336 208	+436 208Е	246 208	346 208	+446 208Е	40	80	36	2	1
236 209	336 209	436 209	246 209	+346 209Е	+446 209Е	45	85	38	2	1
236 210	336 210	436 210	+246 210	346 210	+446 210Е	50	90	40	2	1
+236 211Е	336 211	+436 211Е	246 211	346 211	+446 211Л	55	100	42	2,5	1,2
236 212	336 212	436 212	246 212	346 212	446 212	60	110	44	2,5	1,2
236 213	336 213	436 213	+246 213	346 213	446 213	65	120	46	2,5	1,2
+236 214Е	336 214	436 214	246 214	346 214	446 214	70	125	48	2,5	1,2
236 215	336 215	436 215	246 215	346 215	446 215	75	130	50	2,5	1,2
236 216	336 216	436 216	+246 216	346 216	446 216	80	140	52	3	1,5
+236 217Е	336 217	436 217	246 217	346 217	446 217	85	150	56	3	1,5
+236 218	336 218	436 218	246 218	346 218	446 218	90	160	60	3	1,5
236 219Е	336 219	436 219	246 219	346 219	446 219	95	170	64	3,5	2
236 220	336 220	436 220	246 220	346 220	446 220	100	180	68	3,5	2
236 221	336 221	436 221	246 221	346 221	446 221	105	190	72	3,5	2
236 222	336 222	436 222	246 222	346 222	446 222	110	200	76	3,5	2
236 224	336 224	436 224	246 224	346 224	446 224	120	215	80	3,5	2
236 226	336 226	436 226	246 226	+346 226	446 226	130	230	80	4	2
236 228	336 228	436 228	246 228	346 228	446 228	140	250	84	4	2
236 230	336 230	436 230	246 230	346 230	446 230	150	270	90	4	2
236 232	336 232	436 232	246 232	346 232	446 232	160	290	96	4	2
236 234	336 234	436 234	246 234	346 234	446 234	170	310	104	5	2,5
236 236	336 236	436 236	246 236	346 236	446 236	180	320	104	5	2,5
236 238	336 238	436 238	246 238	346 238	446 238	190	340	110	5	2,5
236 240	336 240	436 240	246 240	346 240	446 240	200	360	116	5	2,5
			246 244	+346 244	446 244	220	400	130	5	2,5
			246 248	346 248	446 248	240	440	144	5	2,5
Средняя серия										
236 303	336 303	436 303	246 303	346 303	446 303	17	47	28	1,5	0,5
236 304	336 304	436 304	246 304	346 304	446 304	20	52	30	2	1
236 305	336 305	436 305	246 305	346 305	446 305	25	62	34	2	1
236 306	336 306	+436 306	246 306	346 306	+446 306	30	72	38	2	1
236 307	336 307	436 307	+246 307	346 307	446 307	35	80	42	2,5	1,2
236 308	336 308	436 308	246 308	+346 308Е	446 308	40	90	46	2,5	1,2
236 309	336 309	436 309	246 309	346 309	446 309	45	100	50	2,5	1,2
236 310	336 310	436 310	246 310	+346 310Е1	446 310	50	110	54	3	1,5
236 311	336 311	436 311	246 311	346 311	446 311	55	120	58	3	1,5
236 312	336 312	436 312	246 312	+346 312Е1	+446 312	60	130	62	3,5	2
236 313	336 313	436 313	246 313	346 313	446 313	65	140	66	3,5	2
236 314	336 314	436 314	246 314	346 314	446 314	70	150	70	3,5	2
236 315	336 315	436 315	246 315	346 315	446 315	75	160	74	3,5	2
236 316	336 316	436 316	246 316	346 316	446 316	80	170	78	3,5	2
236 317	336 317	436 317	246 317	346 317	446 317	85	180	82	4	2
236 318	336 318	436 318	246 318	346 318	446 318	90	190	86	4	2
236 319	336 319	436 319	246 319	346 319	446 319	95	200	90	4	2
236 320	336 320	436 320	246 320	+346 320Е	446 320	100	215	94	4	2
236 321	336 321	436 321	246 321	346 321	446 321	105	225	98	4	2
236 322	336 322	436 322	246 322	346 322Л1	446 322	110	240	100	4	2
236 324	336 324	436 324	246 324	346 324	446 324	120	260	110	4	2
236 326	336 326	436 326	246 326	346 326	446 326	130	280	116	5	2,5
236 328	336 328	436 328	246 328	346 328	446 328	140	300	124	5	2,5
236 330	336 330	436 330	246 330	346 330	446 330	150	320	130	5	2,5
Тяжелая серия										
			246 405	346 405	446 405	25	80	42	2,5	1,2
			246 406	346 406	446 406	30	90	46	2,5	1,2
			246 407	346 407	446 407	35	100	50	2,5	1,2
			246 408	346 408	446 408	40	110	54	3	1,5
			246 409	346 409	446 409	45	120	58	3	1,5
			246 410	346 410	446 410	50	130	62	3,5	2
			246 411	346 411	446 411	55	140	66	3,5	2
			246 412	346 412	446 412	60	150	70	3,5	2
			246 413	346 413	446 413	65	160	74	3,5	2
			246 414	346 414	446 414	70	180	84	4	2
			246 415	346 415	446 415	75	190	90	4	2
			246 416	+346 416Е	446 416	80	200	96	4	2
			246 417	346 417	446 417	85	210	104	5	2,5
			246 418	346 418	446 418	90	225	108	5	2,5

17. Шарикоподшипники радиально-упорные однорядные с одним разъемным кольцом

Размеры в *мм*



Условное обозначение подшипника по ГОСТ 8995-59		Основные размеры по ГОСТ 8995-59				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*
с разъемным кольцом		d	D	B	r			Диаметр	Количество		
наружным	внутренним										
Сверхлегкая серия диаметров 9											
1116916	1176916	80	110	16	1,5						
1116917	1176917	85	120	18	2						
1116918	1176918	90	125	18	2						
1116919	1176919	95	130	18	2						
1116920	1176920	100	140	20	2						
1116921	1176921	105	145	20	2						
1116922	1176922	110	150	20	2						
1116924	1176924	120	165	22	2						
1116926	1176926	130	180	24	2,5						
1116928Б	1176928	140	190	24	2,5	155	171	15,08	29	112 000	7 100
1116930	1176930	150	210	28	3						
1116932	1176932	160	220	28	3						
1116934	1176934	170	230	28	3						
1116936	1176936	180	250	33	3						
1116938	1176938	190	260	33	3						
1116940	+1176940Д1	200	280	38	3,5	228	255	23,81	26	218 000	15 800
Особо легкая серия диаметров 1											
116100	176100	10	26	8	0,5						
116101	176101	12	28	8	0,5						
116102	176102	15	32	9	0,5						
116103	176103	17	35	10	0,5						
116104	176104	20	42	12	1						
116105	176105	25	47	12	1						
116106	176106	30	55	13	1,5						
116107	176107	35	62	14	1,5						
116108	176108	40	68	15	1,5						
116109	176109	45	75	16	1,5						
116110	176110	50	80	16	1,5						
116111	176111	55	90	18	2						
116112	176112	60	95	18	2						
116113	176113	65	100	18	2						
116114	176114	70	110	20	2						
116115	176115	75	115	20	2						
116116	176116	80	125	22	2						
116117	176117	85	130	22	2						
116118	176118	90	140	24	2,5						
116119	+176119Б1	95	145	24	2,5	112	129	15,08	20	82 000	4 900

Продолжение табл. 17

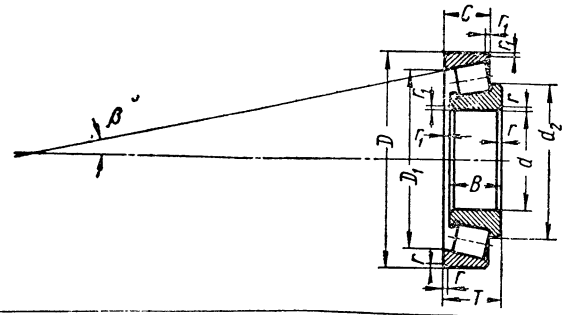
Условное обозначение подшипника по ГОСТ 8995-59		Основные размеры по ГОСТ 8995-59				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$
с разъемным кольцом		d	D	B	r			Диаметр	Количество		
наружным	внутренним										
116120	176120	100	150	24	2,5						
116121	176121	105	160	26	3						
116122	+176122Д	110	170	28	3	130	151	18,26	19	112 000	6 800
116124	176124	120	180	28	3						
116126	176126	130	200	33	3						
+116128Д	+176128Д	140	210	33	3	163	186	22,23	20	160 000	10 600
116130	+176130	150	225	35	3,5	174	201	22,23	22	170 000	11 000
116132	176132	160	240	38	3,5						
116134	+176134Л	170	260	42	3,5	198,8	231,2	26,99	21	230 000	16 000
116136	176136	180	280	46	3,5						
116138	176138	190	290	46	3,5						
116140	+176140	200	310	51	3,5	234	276	33,34	20	310 000	24 000
Особо легкая серия диаметров 7											
1116720	+1176720Б1	100	165	30	3	120	145	20,64	16	122 000	7 300
1116721	1176721	105	175	33	3						
1116722	1176722	110	180	33	3						
1116724	+1176724Д	120	200	38	3	147	176	25,4	16	173 000	11 000
1116726	1176726	130	210	38	3						
1116728	1176728	140	225	40	3,5						
1116730	1176730	150	250	46	3,5						
1116732	1176732	160	270	51	3,5						
1116734	+1176734Д	170	280	51	3,5	204	246	34,93	16	292 000	21 200
1116736	1176736	180	300	56	4						
1116738	1176738	190	320	60	4						
1116740	1176740	200	340	65	4						
Легкая серия											
+116207	1 76207	35	72	17	2	47,5	58,5	10,32	14	34 000	1 600
116208	176208	40	80	18	2						
+116209	176209	45	85	19	2	57,4	73	12,7	13	47 000	2 200
116210	176210	50	90	20	2						
+116211Д	176211	55	100	21	2,5	70,5	87	14,29	14	60 000	3 000
116212	176212	60	110	22	2,5						
+116213	176213	65	120	23	2,5	83	100	15,88	15	78 000	4 000
116214	176214	70	125	24	2,5						
+116215	176215	75	130	25	2,5	93	110	15,88	17	84 000	4 600
116216	176216	80	140	26	3						

Продолжение табл. 17

Условное обозначение подшипника по ГОСТ 8995-59		Основные размеры по ГОСТ 8995-59				d_2	D_2	Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ
с разъемным кольцом		d	D	B	r			Диаметр	Количество		
наружным	внутренним										
116217	176217	85	150	28	3						
+116218	176218	90	160	30	3	112,4	139	22,23	14	130 000	7 400
116219	176219	95	170	32	3,5						
116220	176220Б	100	180	34	3,5	124,5	155	25,4	14	157 000	9 700
116221	176221	105	190	36	3,5						
+116222	176222	110	200	38	3,5	137,6	172,2	28,58	14	190 000	12 000
116224	176224	120	215	40	3,5						
116226	176226	130	230	40	4						
116228	+176228Д	140	250	42	4	176	216	34,93	14	266 000	18 400
116230	176230	150	270	45	4						
116232	+176232Л	160	290	48	4	205	248	38,1	16	334 000	25 000
116234	176234	170	310	52	5						
116236	+176236	180	320	52	5	227	273	38,1	17	350 000	26 000
116238	+176238Л	190	340	55	5	244	290	41,28	17	390 000	31 400
116240	176240	200	360	58	5						
					Средняя серия						
116304	176304	20	52	15	2						
116305	176305	25	62	17	2	38,8	48,7	10,32	11	29 000	1 200
116306	176306	30	72	19	2						
116307	176307	35	80	21	2,5						
116308	+176308	40	90	23	2,5	58,2	71,4	15,08	11	52 000	2 700
116309	176309	45	100	25	2,5						
116310	176310	50	110	27	3						
116311	176311	55	120	29	3						
116312	176312	60	130	31	3,5						
116313	176313	65	140	33	3,5						
116314	176314	70	150	35	3,5						
116315	176315	75	160	37	3,5						
116316	176316	80	170	39	3,5						
116317	176317	85	180	41	4						
116318	176318	90	190	43	4						
116319	176319	95	200	45	4						
11620	176320	100	215	47	4						
116321	176321	105	225	49	4						
116322	176322	110	240	50	4						
116324	176324	120	260	55	4						

18. Роликоподшипники конические однорядные

Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 333-59	Основные размеры по ГОСТ 333-59							d_2	D_1	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	$T_{наиб}$	B	C	r	r_1				Средний диаметр	Рабочая длина	Количество			
						Особо легкая серия										
+2007106	30	55	17,2	16	14	1,5	0,5	42,2	45,4	9°5′	5,31	10,3	19	34 000	2 250	5000
+2007107	35	62	18,2	17	15	1,5	0,5	49	51	10°15′	5,31	10,3	22	37 500	2 600	5000
2007108	40	68	19,2	18	16	1,5	0,5									
+2007109	45	75	20,2	19	16	1,5	0,5	59,5	64	11°20′	7,5	12,6	19	62 000	3 850	5000
2007110	50	80	20,2	19	16	1,5	0,5									
+2007111	55	90	23,3	22	19	2	0,8	72	76	12°30′	8,1	12,8	21	72 000	4 650	5000
2007112	60	95	23,3	22	19	2	0,8									
+2007113	65	100	23,3	22	19	2	0,8	83,1	85	14°5′	8,1	13,8	24	74 000	5 700	4000
2007114	70	110	25,3	24	20	2	0,8									
2007115	75	115	25,3	24	20	2	0,8									
+2007116	80	125	29,3	27	23	2	0,8	102	107,3	12°45′	11,2	17,6	22	110 000	9 300	3200
2007117	85	130	29,3	27	23	2	0,8									
+2007118	90	140	32,4	30	26	2,5	0,8	114,6	121	12°50′	12,45	20,3	22	182 000	12 000	3200
2007119	95	145	32,4	30	26	2,5	0,8									
+2007120	100	150	32,4	30	26	2,5	0,8	124,7	129,8	13°50′	12,45	20,3	24	188 000	13 000	2500
2007121	105	160	35,4	33	28	3	1									
+2007122	110	170	38,4	36	31	3	1	139	147	13	15	25	23	260 000	18 500	2500
+2007124	120	180	38,4	36	31	3	1	149	157	13°50′	15	25	25	290 000	20 000	2500
2007126	130	200	45,5	42	36	3	1									
+2007128	140	210	45,5	42	36	3	1	174	182	13°50′	17,5	28	25	380 000	26 000	1600

Продолжение табл. 18

Условное обозначение по ГОСТ 333-59	Основные размеры по ГОСТ 333-59							d_2	D_1	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	$T_{наиб}$	B	C	r	r_1				Средний диаметр	Рабочая длина	Количество			
2007130	150	225	48,5	45	38	3,5	1,2									
2007132	160	240	51,5	48	41	3,5	1,2	200	209	13°50′	20	33,5	26	540 000	37 000	1600
2007134	170	260	57,5	54	46	3,5	1,2									
2007136	180	280	64,5	60	52	3,5	1,2	227	243	10°30′	24,3	40	24	710 000	50 000	1300
2007138	190	290	64,5	60	52	3,5	1,2									
+2007140	200	310	70,5	66	56	3,5	1,2	255	263	14°05′	24,9	47	26	890 000	65 000	1000
+2007144	220	340	76,5	72	62	4,0	1,5	278	295	13°	30	50,2	24	1 070 000	77 000	800
+2007148	240	360	76,5	73	62	4,0	1,5	298	314	11°55′	27,7	51,2	27	960 000	82 000	800
2007152	260	400	87,7	82	71	5	2	326	347	11°10′	32,5	56,6	26	1 400 000	102 000	800
+2007156	280	420	87,7	82	71	5	2	348	366	13°50′	35	57,3	26	1 660 000	110 000	630
+2007160	300	460	100,7	95	82	5	2	378	397	10°40′	35,8	64,1	27	1 900 000	132 000	630
2007164	320	480	100,7	95	82	5	2									
								Легкая серия								
+7202	15	35	12	11	9	1	0,3	25,8	26	16°45′	3,9	6,4	14	14 000	750	6300
+7203	17	40	13,5	12	11	1,5	0,5	27,8	31,5	11°50′	5,7	7	12	20 000	1 000	6300
+7204	20	47	15,5	14	12	1,5	0,5	32,5	37	13°30′	6,7	8,5	12	28 000	1 450	5000
+7205	25	52	16,5	15	13	1,5	0,5	38	41,4	13°30′	6,7	8,5	14	35 000	2 000	5000
+7206	30	62	17,5	16	14	1,5	0,5	45,6	50,6	13°40′	8	10,2	14	43 000	2 450	5000
+7207	35	72	18,5	17	15	2	0,8	52,7	59	13°50′	9,2	10,5	14	50 000	2 850	5000
+7208	40	80	20	19	16	2	0,8	59,3	66,2	14°20′	9,9	12,2	15	66 000	3 800	5000
+7209	45	85	21	20	16	2	0,8	64,8	70	15°20′	9,9	12,2	16	70 000	4 000	5000
+7210	50	90	22	21	17	2	0,8	68,4	77	14°	11,7	14,8	14	82 000	4 500	5000
+7211	55	100	23	21	18	2,5	0,8	76,4	83,6	15°20′	11,7	14,8	16	90 000	5 000	4000
+7212	60	110	24	23	19	2,5	0,8	83	94	13°10′	13,1	14,2	16	112 000	6 400	4000
7213	65	120	25	23	20	2,5	0,8	92	101,3	14°20′	13,1	14,2	18	120 000	7 100	3200
+7214	70	125	26,5	26	21	2,5	0,8	96	107	13°50′	14,2	17,4	17	152 000	9 000	3200
+7215	75	130	27,5	26	22	2,5	0,8	101,5	111,5	14°30′	14,2	17,4	18	158 000	9 500	3200
+7216	80	140	28,5	26	22	3	1	111	119,5	15°40′	14,2	17,4	20	170 000	10 000	3200
+7217	85	150	31	28	24	3	1	115	127	16°10′	16,7	17	17	200 000	10 000	2500
+7218	90	160	33	31	26	3	1	122,5	136	14°20′	17,5	20	18	230 000	13 500	2500
+7219	95	170	35	32	27	3,5	1,2	132	146	14°20′	18,7	20	18	270 000	14 000	2000
+7220	100	180	37,5	34	29	3,5	1,2	139	151	15°	18,7	22,7	19	280 000	17 000	2000
7221	105	190	39,5	36	30	3,5	1,2									
7222	110	200	41,5	38	32	3,5	1,2									
+7224	120	215	44	41	34	3,5	1,2	166	184	14°30′	23,4	27,3	19	400 000	26 000	1300
7226	130	230	44,5	40	34	4	1,5									
7228	140	250	46,5	42	36	4	1,5									
+7230	150	270	50	45	38	4	1,5	205	233	13°50′	31	27	18	520 000	32 000	1000
7232	160	290	53	48	40	4	1,5									

Продолжение табл. 18

Условное обозначение по ГОСТ 333-59	Основные размеры по ГОСТ 333-59							d_2	D_1	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	$T_{наиб}$	B	C	r	r_1				Средний диаметр	Рабочая длина	Количество			
7234	170	310	58	52	43	5	2									
7236	180	320	58	52	43	5	2									
7238	190	340	61	55	46	5	2									
7240	200	360	65	58	48	5	2									
+7244	220	400	71	65	52	5	2	300	342	14°	44,7	39	18	1 070 000	66 000	800
Легкая широкая серия																
+7506	30	62	21,5	20,5	17	1,5	0,5	45,6	50	13°40′	7,9	13	14	57 000	3 000	5000
+7507	35	72	24,5	23	20	2	0,8	52,5	58	13°	9,7	14,7	14	78 000	4 300	5000
+7508	40	80	25	23,5	20	2	0,8	58,5	64	14°15′	9,7	14,7	16	84 000	4 800	4000
+7509	45	85	25	23,5	20	2	0,8	65,4	69	15°30′	9,7	14,7	16	84 000	4 800	4000
+7510	50	90	25	23,5	20	2	0,8	71	73	15°40′	8,9	16,7	19	94 000	6 000	4000
+7511	55	100	27	25	21	2,5	0,8	75,4	83	13°30′	11,5	17,4	16	116 000	6 800	3200
+7512	60	110	30	28	24	2,5	0,8	85	90	14°40′	11,6	18,6	18	152 000	8 300	3200
+7513	65	120	33	31	27	2,5	0,8	91,5	99	13°50′	13,4	22	17	176 000	11 000	3200
+7514	70	125	33,5	31	27	2,5	0,8	97	103	14°30′	13,4	22	18	182 000	11 300	3200
+7515	75	130	33,5	31	27	2,5	0,8	102	108	15°10′	13,4	22	19	188 000	11 800	2500
+7516	80	140	35,5	33	28	3	1	109,5	117	15°	14,7	23,4	19	220 000	13 800	2500
+7517	85	150	39	36	30	3	1	116,7	123	15°	15,5	25,7	19	260 000	15 200	2000
+7518	90	160	43	40	34	3	1	124	132	14°30′	17,3	27,6	18	310 000	18 000	2000
+7519	95	170	46	45,5	37	3,5	1,2	132	141	14°20′	18,4	33,4	18	380 000	23 500	2000
+7520	100	180	49,5	46	39	3,5	1,2	140	146	15°	18,4	33,4	19	390 000	25 000	1600
7521	105	190	53,5	50	43	3,5	1,2									
+7522	110	200	56,5	53,5	46	3,5	1,2	153	163	14°30′	21,2	40	18	520 000	31 000	1300
+7524	120	215	62	58	50	3,5	1,2	168	173	15°20′	21,6	43,3	20	600 000	40 000	1300
+7526	130	230	68,5	65	54	4	1,5	182	185	16°	22,2	48,4	21	730 000	45 500	1000
+7528	140	250	72,5	68	58	4	1,5	193	209	12°20′	27,2	50,8	19	890 000	57 000	1000
+7530	150	270	78	74	60	4	1,5	208	221	14°30′	28,8	54,6	19	980 000	63 000	1000
7532	160	290	85	80	67	4	1,5									
7534	170	310	92	86	70	5	2									
+7536	180	320	92	86	70	5	2	244	264	13°40′	34,6	59,6	16	1 160 000	70 000	800
+7538	190	340	98	92	75	5	2	262	282	11°10′	33,5	63	20	1 360 000	72 500	800
7540	200	360	105	98	82	5	2									
7544	220	400	115	108	90	5	2									
7548	240	440	128	120	100	5	2									
7552	260	480	138	130	106	6	2,5									

Продолжение табл. 18

Условное обозначение по ГОСТ 333-59	Основные размеры по ГОСТ 333-59							d_2	D_1	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	$T_{наиб}$	B	C	r	r_1				Средний диаметр	Рабочая длина	Количество			
								Средняя серия								
7302	15	42	14,5	13	11	1,5	0,5	26,3	32	10°20′	6,7	8,9	10	26 000	1 250	5000
7303	17	47	15,5	14	12	1,5	0,5	32,8	37	13°30′	6,7	8,6	12	28 000	1 500	5000
+7304	20	52	16,5	16	13	2	0,8	35,4	42	11°10′	8	10,2	11	38 000	2 000	5000
+7305	25	62	18,5	17	15	2	0,8	43,5	50,5	13°30′	9,5	10	13	45 000	2 500	5000
+7306	30	72	21	19	17	2	0,8	50,6	58	13°30′	9,9	12,7	13	60 000	3 350	5000
+7307	35	80	23	21	18	2,5	0,8	56,3	65,5	12°	11,7	14,8	12	74 000	3 380	5000
+7308	40	90	25,5	23	20	2,5	0,8	62,5	74,5	10°30′	13,1	14,2	12	92 000	4 800	4000
+7309	45	100	27,5	26	22	2 5	0,8	70,5	83,5	10°50′	14,3	16	13	128 000	6 400	4000
+7310	50	110	29,5	29	23	3	1	76,5	92	11°40′	16,7	19,4	12	152 000	8 300	4000
+7311	55	120	32	29	25	3	1	84	97,5	12°30′	16,7	19,4	13	164 000	9 000	3200
+7312	60	130	34	31	27	3,5	1,2	94	108,5	11°30′	17,5	20	14	194 000	10 500	3200
+7313	65	140	36,5	33	29	3,5	1,2	101	116,5	11°30′	18,7	21	14	230 000	12 000	3200
+7314	70	150	38,5	37	30	3,5	1,2	104,5	126	11°40′	22,8	24,6	12	270 000	14 500	3200
+7315	75	160	40,5	37	31	3,5	1,2	112,5	133	12°20′	22,8	24,6	13	280 000	15 500	2500
+7316	80	170	43	39	33	3,5	1,2									
+7317	85	180	45	41	35	4	1,5	130	150	11°50′	23,4	27,3	15	350 000	20 000	2000
+7318	90	190	47	43	36	4	1,5	131	158	12°	22,7	27,3	13	380 000	21 000	2000
7319	95	200	50	45	39	4	1,5	143,5	167	12°50′	27,6	30,5	14	440 000	25 500	1600
7320	100	215	52	47	39	4	1,5	151	181	12°10′	31,2	31,8	13	500 000	28 500	1600
7321	105	225	54	49	41	4	1,5									
7322	110	240	55	50	42	4	1,5	171,5	203	12°50′	33,4	31	14	570 000	31 500	1300
7324	120	260	60	55	46	4	1,5									
7326	130	280	64,5	58	49	5	2									
7328	140	300	68,5	62	53	5	2									
7330	150	320	73	65	55	5	2									
7332	160	340	76	68	58	5	2									
7334	170	360	81	72	62	5	2									
7336	180	380	84	75	64	5	2									
7338	190	400	87	78	65	6	2,5									
7340	200	420	90	80	67	6	2,5									
7344	220	460	98	88	73	6	2,5									
7348	240	500	106	95	80	6	2,5									
+7352	260	540	110	102	85	8	3,5	372	450	8°40′	68,6	64	17	2 500 000	160 000	630

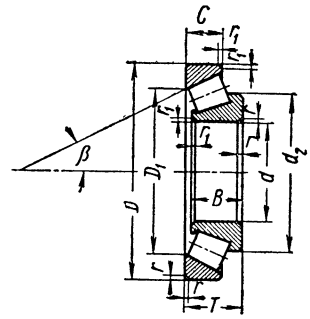
Продолжение табл. 18

Условное обозначение по ГОСТ 333-59	Основные размеры по ГОСТ 333-59							d_2	D_1	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	$T_{наиб}$	B	C	r	r_1				Средний диаметр	Рабочая длина	Количество			
Средняя широкая серия																
+7604	20	52	22,5	21	18,5	2	0,8	35,8	40,5	11°15′	7,9	13	11	46 000	2 400	5000
+7605	25	62	25,5	24	21	2	0,8	42	48,5	11°20′	8,9	16,7	12	70 000	3 850	5000
+7606	30	72	29	29	23	2	0,8	50	55,5	12°	10,2	20,4	12	100 000	5 300	4000
+7607	35	80	33	31	27	2,5*	0,8	56,5	61,5	11°10′	10,5	22	13	116 000	6 700	4000
+7608У	40	90	35,5	33	28,5	2,5	0,8	64	70,5	11°10′	12	23,4	13	140 000	7 800	4000
+7609	45	100	38,5	36	30	2,5	0,8	70,3	78,5	11°	13,7	24,4	13	170 000	9 400	4000
+7610	50	110	42,5	40	34	3	1	78	86,5	11°10′	14,8	28	13	210 000	11 500	3200
+7611	55	120	46	44,5	36,5	3	1	87	93	12°10′	14,8	28	15	260 000	15 000	3200
+7612	60	130	49	47,5	39	3,5	1,2	93,5	103	11°30′	17	33	14	300 000	17 000	3200
+7613	65	140	51,5	48	41	3,5	1,2	102	110	12°20′	17	33	15	320 000	18 000	3200
+7614	70	150	54,5	51	43	3,5	1,2	107	119	13°10′	19,8	35	13	380 000	19 500	2500
+7615	75	160	58,5	55	46,5	3,5	1,2	113	127	11°20′	21,2	40	14	440 000	24 500	2500
+7616	80	170	62	59,5	49	3,5	1,2	131	137	11°50′	19,4	43,2	18	500 000	30 000	2000
7617	85	180	64	60	50,5	4	1,5	132	142	12°30′	21,6	43,7	16	540 000	32 500	2000
+7618	90	190	68	66,5	53,5	4	1,5	136	153	11°20′	25,5	49	14	630 000	37 500	1600
7619	95	200	72	67	57	4	1,5	144	159	11°50′	25,5	49	15	670 000	40 000	1600
+7620	100	250	78	73	61,5	4	1,5	156	172	11°50′	27,5	53	15	800 000	47 000	1600
7621	105	225	82	77	64,5	4	1,5									
7622	110	240	85	80	66	4	1,5									
+7624	120	260	91	86	70,5	4	1,5	184	207	11°30′	34	61	14	1 070 000	63 000	1000
7626	130	280	99,5	92	78	5	2									
7628	140	300	108,5	102	85	5	2									
7630	150	320	115	108	90	5	2									
7632	160	340	122	114	95	5	2									
7634	170	360	128	120	100	5	2									

* Размер фаски внутреннего кольца 4 *мм*.

19. Роликоподшипники конические с большим углом конуса

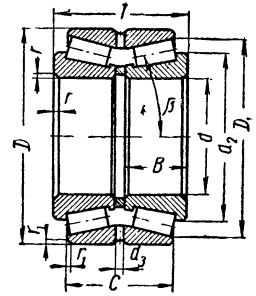
Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 7260-54	Основные размеры по ГОСТ 7260-54							d_2	D_1	β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	$T_{наиб}$	B	C	r	r_1				Средний диаметр	Рабочая длина	Количество			
Средняя серия																
27 306	30	72	21	19	14	2	0,8									
27 307	35	80	23	21	15	2,5	0,8									
+27 308	40	90	25,5	23	17	2,5	0,8	67	64,5	27°40′	11,1	14,6	14	72 000	4 400	4 000
27 309	45	100	27,5	26	18	2,5	0,8									
27 310	50	110	29,5	29	19	3	1									
27 311	55	120	32	29	21	3	1									
+27 312	60	130	34	31	22	3,5	1,2	106	106	26°40′	16	18,4	16	146 000	9 200	3 200
27 313	65	140	36,5	33	23	3,5	1,2									
27 314	70	150	38,5	37	25	3,5	1,2									
27 315	75	160	40,5	37	26	3,5	1,2									
27 316	80	170	43	39	28	3,5	1,2									
+27 317	85	180	45	41	30	4	1,5	133,6	133	27°	19,8	25,2	17	260 000	17 000	2 000
27 318	90	190	49	44	31	4	1,5									
27 319	95	200	52	46	34	4	1,5									
+27 320	100	215	57	51	37	4	1,5	159	162	25°25′	25,6	30,6	16	400 000	25 000	1 300
27 322	110	240	63	57	39	4	1,5									
+27 324	120	280	68	62	43	4	1,5	193	195	26°25′	29,8	36	16	530 000	33 500	1 000
+27 328	140	300	77,5	70	48	5	2	224	225	26°40′	34,1	41,6	16	705 000	44 500	1 000
27 332	160	340	88	79	54	5	2									
27 336	180	380	98	88	60	5	2									
+27 340	200	420	108	97	66	6	2,5	320	311	29°	44	61,3	18	1 290 000	93 000	800

20. Роликоподшипники конические двухрядные

Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 6364-52	Основные размеры по ГОСТ 6364-52						B	d_3	D_1	Смазочные отверстия		β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	T	C	r	r_1				d_3	Количество		Средний диаметр	Рабочая длина	Количество в одном ряду			
Сверхлегкая серия диаметров 9																		
2097926	130	180	70	50	2,5	0,8												
2097928	140	190	70	50	2,5	0,8												
2097930	150	210	80	60	3	1												
2097932	160	220	80	60	3	1												
2097934	170	230	80	60	3	1												
+2097936	180	250	90	70	3	1	42	215	239	6	4	13°45′	17	28,6	31	710 000	65 000	1000
+2097938	190	260	95	76	3	1	42	225	249	6	4	14°20′	17	28,6	33	730 000	68 000	800
2097940	200	280	105	80	3,5	1,2												
+2097944	220	300	110	88	3,5	1,2	48	260	285	10	4	11°40′	18	32,9	38	980 000	96 000	800
+2097948	240	320	110	90	3,5	1,2	48	283	309	10	4	16°35′	18,2	33	40	1 000 000	100 000	800
+2097952	260	360	134	108	3,5	1,2	60	310	342	10	4	11°25′	24,3	40,5	37	1 440 000	140 000	630
2097956	280	380	130	100	3,5	1,2												
+2097960	300	420	160	128	4	1,5	72	357	397	12	8	10°40′	27,3	48,5	34	2 000 000	195 000	500
2097964	320	440	160	120	4	1,5												

Продолжение табл. 20

Условное обозначение по ГОСТ 6364-52	Основные размеры по ГОСТ 6364-52						B	d_2	D_1	Смазочные отверстия		β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	T	C	r	r_1				d_3	Количество		Средний диаметр	Рабочая длина	Количество в одном ряду			
+2097968	340	460	160	128	4	1,5	72	400	440	12	8	11°50′	27,3	48,5	38	2 300 000	215 000	400
+2097972	360	480	160	128	4	1,5	72	418	458	12	8	12°20′	27,3	48,5	40	2 400 000	225 000	400
+1097976	380	520	150	112	5	2	65	445	493	12	6	10°55′	33,5	38	35	2 000 000	192 000	320
1097980	400	540	145	110	5	2												
1097984	420	560	145	110	5	2												
1097988	440	600	165	125	5	2												
+1097992	460	620	170	125	5	2	74	532	593	12	8	14°55′	39,2	46	40	3 300 000	305 000	320
+1097996	480	650	180	130	6	2,5	78	562	618	12	8	15°35′	39,2	46	37	2 900 000	280 000	250
10979/500	500	670	180	130	6	2,5	78	580	641	12	8	16°10′	39,2	46	43	3 400 000	325 000	200
+10979/530	530	710	190	136	6	2,5	82	610	678	12	8	15°20′	43,7	47,8	41	3 900 000	362 000	200
10979/560	560	750	195	145	6	2,5												
+10979/600	600	800	205	155	6	2,5	90	689	760	12	8	12°20′	45,2	57,3	45	4 850 000	500 000	200
+10979/630	630	850	225	170	8	3,5	100	729	811	12	10	14°55′	53,4	62,8	40	5 750 000	570 000	150
10979/670	670	900	230	175	8	3,5												
+10979/710	710	950	240	175	8	3,5	106	823	904	12	8	17°	52,5	65	46	6 000 000	660 000	150
10979/750	750	1000	255	190	8	3,5												
+10979/800	800	1060	270	204	8	3,5	115	919	1005	12	10	13°5′	57	70	48	7 800 000	820 000	100
+10979/850	850	1120	268	190	8	3,5	118	976	1070	12	8	16°55′	62,6	74	46	8 700 000	890 000	100
10979/900	900	1180	275	205	8	3,5	122											
+10979/950	950	1250	295	220	10	4	132	1086	1193	12	10	12°30′	71	80	46	10 800 000	1 120 000	100
Особо легкая серия диаметров 1																		
2097124	120	180	85	65	3	1												
2097126	130	200	95	75	3	1												
2097128	140	210	95	75	3	1												
2097130	150	225	105	80	3,5	1,2												
2097132	160	240	110	80	3,5	1,2												
2097134	170	260	120	90	3,5	1,2												
+2097136	180	280	134	108	3,5	1,2	60	227	262	10	4	10°30′	24,3	40	24	1 160 000	100 000	800
2097138	190	290	130	100	3,5	1,2												
+2097140	200	310	152	120	3,5	1,2	66	255	291	10	4	14°05′	24,9	45	26	1 500 000	130 000	900
+2097144	220	340	165	130	4	1,5	72	278	322	10	4	13°	30	50,2	24	1 820 000	155 000	800

Продолжение табл. 20

Условное обозначение по ГОСТ 6364-52	Основные размеры по ГОСТ 6364-52						B	d_2	D_1	Смазочные отверстия		β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	T	C	r	r_1				d_3	Количество		Средний диаметр	Рабочая длина	Количество в одном ряду			
+2097148	240	360	165	130	4	1,5	72	298	339	10	4	10°55′	27,7	51,2	27	1 960 000	165 000	630
+2097152	260	400	186	146	5	2	82	326	374	10	4	11°10′	32,5	56,5	26	2 500 000	200 000	630
+2097156	280	420	189	154	5	2	82	348	401	12	6	13°50′	35	57,5	26	2 580 000	222 000	630
2097160	300	460	210	160	5	2												
2097164	320	480	210	160	5	2												
+97168	340	520	180	135	6	2,5	82	422	486	12	8	10°55′	43,7	47,8	25	2 780 000	225 000	400
+97172	360	540	185	140	6	2,5	82	440	504	12	8	11°20′	43,7	47,8	27	2 970 000	242 000	400
97176	380	560	185	140	6	2,5												
+97180	400	600	206	150	6	2,5	90	494	562	12	8	14°45′	46,7	57	28	3 800 000	315 000	320
+97184	420	620	206	150	6	2,5	90	516	584	12	8	15°20′	46,7	57	29	3 800 000	325 000	320
+97188	440	650	212	152	8	3,5	94	542	609	12	8	16°	46,7	57	30	3 800 000	335 000	320
+97192	460	680	230	175	8	3,5	100	559	637	12	8	11°40′	53,6	62,8	27	4 750 000	390 000	320
97196	480	700	230	160	8	3,5												
971/500	500	720	230	160	8	3,5												
971/530	530	780	255	180	8	3,5												
+971/560	560	820	260	185	8	3,5	115	675	773	12	8	14°45′	64,3	70	31	6 000 000	590 000	200
+971/600	600	870	270	198	8	3,5	118	722	822	12	10	15°25′	65,4	76	33	7 450 000	690 000	130
971/630	630	920	285	200	10	4												
971/670	670	980	310	215	10	4												
+971/710	710	1030	315	220	10	4	140	857	971	12	8	15°55′	75	88	35	10 700 000	970 000	100
971/750	750	1090	365	255	10	4												
971/800	800	1150	380	265	10	4												
971/850	850	1220	400	280	10	4												
971/900	900	1280	410	285	10	4												
971/950	950	1360	440	305	10	4												
971/1000	1000	1420	450	315	10	4												

Продолжение табл. 20

Условное обозначение по ГОСТ 6364-52	Основные размеры по ГОСТ 6364-52						B	d_2	D_1	Смазочные отверстия		β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	T	C	r	r_1				d_3	Количество		Средний диаметр	Рабочая длина	Количество в одном ряду			
Особо легкая серия диаметров 7																		
2097722	110	180	95	70	3	1												
2097724	120	200	110	80	3	1												
+2097726	130	210	110	90	3	1	48	166	194	8	4	9°45′	19,4	33	23	760 000	64 000	1300
2097728	140	225	115	85	3,5	1,2												
+2097730	150	250	138	112	3,5	1,2	60	196	230	10	4	9°15′	24,3	40	21	1 160 000	88 000	1000
+2097732	160	270	150	120	3,5	1,2	66	214	250	10	4	12°05′	24,9	47	22	1 340 000	110 000	800
2097734	170	280	145	110	3,5	1,2												
+2097736	180	300	164	134	4	1,5	72	235	276	10	4	9°40′	27,7	51,2	22	1 660 000	135 000	800
+2097738	190	320	172	134	5	1,5	78	251	295	10	4	11°55′	30	51,2	22	1 660 000	145 000	630
+2097740	200	340	184	150	4	1,5	82	265	303	10	4	9°20′	32,5	56,5	22	2 200 000	175 000	630
2097744	220	370	195	145	5	2												
+2097748	240	400	210	168	5	2	95	318	374	10	4	12°	37,5	65	22	2 800 000	231 000	500
+2097752	260	440	225	180	5	2	106	340	403	12	8	9°	43,7	71	20	3 070 000	270 000	500
1097756	280	460	185	140	6	2,5												
+1097760	300	500	205	152	6	2,5	90	391	459	12	8	12°	46,7	57	22	3 070 000	250 000	500
1097764	320	540	225	160	6	2,5												
+1097768	340	580	242	170	6	2,5	106	450	535	12	8	15°45′	57,8	66	21	3 800 000	340 000	500
1097772	360	600	242	170	6	2,5												
+1097776	380	620	242	170	6	2,5	106	492	577	12	8	17°	57,8	66	22	4 500 000	350 000	400
1097780	400	650	255	180	8	3,5												
+1097784	420	700	275	200	8	3,5	122	542	642	12	8	12°	65,4	76	25	6 500 000	530 000	320
1097788	440	720	275	200	8	3,5												
1097792	460	760	300	210	10	4												
Легкая серия диаметров 2																		
97506	30	62	47	35	1,5	0,5												
97507	35	72	55	40	2	0,8												
97508	40	80	55	40	2	0,8												
97509	45	85	55	40	2	0,8												
+97510	50	90	55	45	2	0,8	23,5	71	84	4	4	15°40′	8,9	16,7	19	158 000	11 800	2000
97511	55	100	60	45	2,5	0,8												
+97512	60	110	70	55	2,5	0,8	28	85	103	6	4	14°40′	11,6	18,6	18	215 000	16 500	2000
97513	65	120	70	55	2,5	0,8												
97514	70	125	70	55	2,5	0,8												
+97515	75	130	75	62	2,5	0,8	31	102,3	122	6	4	15°10′	31,4	22	19	310 000	23 500	1600

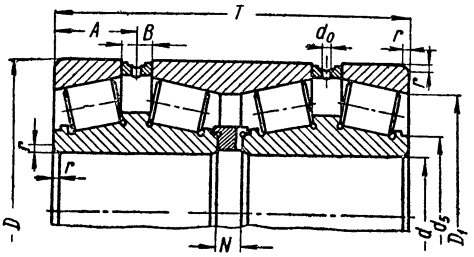
Продолжение табл. 20

Условное обозначение по ГОСТ 6364-52	Основные размеры по ГОСТ 6364-52						B	d_2	D_1	Смазочные отверстия		β	Ролики			Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	T	C	r	r_1				d_3	Количество		Средний диаметр	Рабочая длина	Количество в одном ряду			
+97516	80	140	80	60	3	1	33	109,7	131	6	4	15°	14,7	23,4	19	340 000	27 500	1600
97517	85	150	85	65	3	1												
+97518	90	160	96	78	3	1	40	124,3	150	8	4	14°30′	17,2	27,6	18	480 000	36 500	1600
97519	95	170	112	80	3,5	1,2												
+97520	100	180	105	92	3,5	1,2	46	140	167	8	4	15°	18,5	33,4	19	650 000	50 000	1300
+97521	105	190	118	96	3,5	1,2	50	147,6	177	8	4	14°50′	19,8	36,6	19	730 000	58 000	1300
97522	110	200	125	95	3,5	1,2												
97524	120	215	130	95	3,5	1,2												
+97526	130	230	150	120	4	1,5	65	182	215	10	4	16°	22,2	48,4	21	1 160 000	91 000	1000
97528	140	250	155	120	4	1,5												
+97530	150	270	172	138	4	1,5	74	208	252	10	4	14°30′	28,8	53,6	19	1 660 000	122 000	630
97532	160	290	180	135	4	1,5												
97534	170	310	195	145	5	2												
97536	180	320	195	145	5	2												
97238	190	340	130	95	5	2												
97240	200	360	135	105	5	2												
97244	220	400	155	115	5	2												
97248	240	440	170	130	5	2												
97252	260	480	185	135	6	2,5												
97256	280	500	185	135	6	2,5												
97260	300	540	200	150	6	2,5												
97264	320	580	215	160	0	2,5												

Примечание. Размеры T и C у подшипников, не отмеченных знаком плюс, уточняются при их проектировании.

21. Роликоподшипники конические четырехрядные

Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 8419-57	Основные размеры по ГОСТ 8419-57								d_5	D_1	Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*
	d	D	T	r	N	B	A	d_0				
Особо легкая серия диаметров 1												
2077126	130	200	185	3	9	16	44	5				
2077128	140	210	185	3	9	16	44	5				
2077130	150	225	195	3,5	9	17	46	5				
2077132	160	240	210	3,5	10	17	50	5				
2077134	170	260	230	3,5	10	18	55	5				
2077136	180	280	260	3,5	10	21	62	5				
2077138	190	290	260	3,5	10	21	62	5				
2077140	200	310	275	3,5	11	21	66	10				
+2077144Л	220	340	305	4	12	21	73	10				
+2077148	240	360	310	4	12	24	74	10				
+2077152*	260	400	345	5	14	24	83	10				
+2077156	280	420	345	5	14	24	83	10	238	295	3 400 000	305 000
2077160	300	460	390	5	14	24	94	10	260	314	3 540 000	325 000
2077164	320	480	390	5	14	24	94	10	283	347	4 500 000	405 000
77168	340	520	325	6	15	29	77	15	302	367	4 800 000	440 000
+77172	360	540	325	6	15	35	77	15	392	478	5 250 000	485 000
77176	380	560	325	6	15	29	77	15				
77180	400	600	356	6	16	36	85	15				
77184	420	620	356	6	16	36	85	15				
77188*	440	650	375	8	16	42	90	15				
77192	460	680	410	8	20	39	97	15				
77196	480	700	420	8	20	40	100	15				
771/500	500	720	420	8	20	40	100	15				
771/530	530	780	450	8	20	49	107	15				
771/560	560	820	465	8	21	54	111	20				
771/600	600	870	480	8	22	54	115	20				

Продолжение табл. 21

Условное обозначение по ГОСТ 8419-57	Основные размеры по ГОСТ 8419-57								d_s	D_1	Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ
	d	D	T	r	N	B	A	d_0				
+771/630	630	920	515	10	25	57	122	20	685	813	15 600 000	1 550 000
771/670	670	980	545	10	25	60	130	20				
771/710	710	1030	575	10	25	65	137	20				
771/750	750	1090	605	10	25	74	145	20				
Особо легкая серия диаметров 7												
2077726	130	210	215	3	11	16	51	5				
2077728	140	225	226	3,5	10	20	54	5				
2077730	150	250	260	3,5	10	23	62	5				
2077732	160	270	280	3,5	12	22	67	5				
2077734	170	280	280	3,5	12	22	67	5				
2077736	180	300	304	4	12	24	73	5				
2077738	190	320	322	4	12	29	77	10				
2077740	200	340	344	4	12	28	83	10				
2077744	220	370	370	5	14	28	89	10				
2077748	240	400	382	5	14	28	92	10				
2077752*	260	440	420	5	16	30	101	10				
1077756	280	460	324	6	16	30	77	10				
1077760*	300	500	366	6	18	34	87	10				
1077764	320	540	406	6	18	36	97	15				
1077768	340	580	420	6	16	48	101	15				
1077772	360	600	420	6	16	48	101	15				
+1077776*	380	620	420	6	20	48	100	15	422	531	8 000 000	700 000
1077780	400	650	456	8	20	48	109	15				
1077784	420	700	480	8	20	50	115	15				
1077788	440	720	480	8	20	50	115	15				
1077792	460	760	520	10	20	52	125	15				
1077796	480	790	530	10	20	53	128	15				
10777/500	500	830	570	10	26	64	136	20				
10777/530	530	870	590	10	20	61	143	20				
10777/560	560	920	620	10	20	70	150	20				
10777/600	600	980	650	10	22	72	157	20				
10777/630	630	1030	670	10	22	78	162	20				
+10777/670	670	1090	710	10	26	72	171	20	744	952	28 500 000	2 650 000
10777/710	710	1150	750	12	26	74	181	20				
10777/750	750	1220	790	12	26	80	191	20				

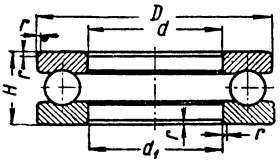
Примечания: 1. Размеры A, T, B, N, d_0 и r у подшипников, отмеченных знаком «*», должны быть согласованы между изготовителем и заказчиком.

2. Размеры A, B, N и d_0 являются вспомогательными и даны для проектирования.

3. Предельные числа оборотов согласовываются с ВНИПП.

22. Шарикоподшипники упорные одинарные

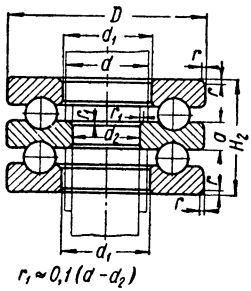
Размеры в *мм*



Условное обозначение по ГОСТ 6874-54	Основные размеры по ГОСТ 6874-54					Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в *кГ*	Предельное число оборотов в минуту
	d	D	H	d_1	r	Диаметр	Количество			
					Особо легкая серия					
+8100	10	24	9	10,2	0,5	4,76	10	10 000	1 100	10000
+8101	12	26	9	12,2	0,5	4,76	11	10 600	1 250	10000
+8102	15	28	9	15,2	0,5	4,76	12	11 300	1 350	8000
+8103	17	30	9	17,2	0,5	4,76	14	12 500	1 580	8000
+8104	20	35	10	20,2	0,5	5,56	14	16 700	2 150	6300
+8105	25	42	11	25,2	1	5,56	17	19 000	2 600	6300
+8106	30	47	11	30,2	1	5,56	19	21 000	2 900	6300
+8107К	35	52	12	35,2	1	6,35	20	28 000	4 000	5000
+8108	40	60	13	40,2	1	7,14	20	35 000	5 100	5000
+8109	45	65	14	45,2	1	7,14	22	37 000	5 500	5000
+8110	50	70	14	50,2	1	7,14	24	39 000	6 100	4000
+8111	55	78	16	55,2	1	8,5	23	52 000	8 300	4000
+8112	60	85	17	60,2	1,5	8,73	24	57 000	9 000	3200
+8113	65	90	18	65,2	1,5	9,53	23	65 000	10 000	3200
+8114	70	95	18	70,2	1,5	9,53	25	70 000	11 000	2500
+8115	75	100	19	75,2	1,5	9,53	26	72 000	11 800	2500
+8116	80	105	19	80,2	1,5	9,53	27	74 000	12 000	2500
+8117	85	110	19	85,2	1,5	9,53	29	76 000	13 000	2000
+8118	90	120	22	90,2	1,5	11,11	26	94 000	16 000	2000
+8120	100	135	25	100,2	1,5	12,7	27	124 000	21 000	2000
+8122	110	145	25	110,2	1,5	11,91	29	126 000	20 500	1600
+8124	120	155	25	120,2	1,5	12,7	29	128 000	23 000	1600
+8126Л	130	170	30	130,3	1,5	15,08	27	164 000	30 500	1300
+8128	140	180	31	140,3	1,5	15,08	28	170 000	31 500	1300
+8130Л	150	190	31	150,3	1,5	15,08	30	182 000	34 000	1000
8132	160	200	31	160,3	1,5	15,08	32	188 000	36 000	1000
+8134	170	215	34	170,3	2	17,46	30	230 000	45 500	1000
+8136	180	225	34	180,3	2	17,46	31	240 000	47 000	800
8138	190	240	37	190,3	2					
+8140	200	250	37	200,3	2	19,05	32	280 000	58 000	630
+8144	220	270	37	220,3	2	19,05	35	300 000	63 000	630
+8148	240	300	45	240,3	2,5	23,02	32	380 000	84 000	630
8152	260	320	45	260,3	2,5	23,02	34	400 000	90 000	500
+8156	280	350	53	280,3	2,5	26,99	32	500 000	115 000	500
8160	300	380	62	300,3	3					
+8164	320	400	63	320,4	3	31,75	31	650 000	155 000	400
+8168Г	340	420	64	340,4	3	31,75	33	670 000	165 000	320
+8172	360	440	65	360,4	3	31,75	34	690 000	170 000	320
8176	380	460	65	380,4	3					
8180	400	480	65	400,4	3					
8184	420	500	65	420,5	3					
8188	440	540	80	440,5	3,5					
8192	460	560	80	460,5	3,5					
8196	480	580	80	480,5	3,5					
81/500	500	600	80	500,5	3,5					

23. Шарикоподшипники упорные одинарные (см. фиг. в табл. 22) и двойные

Размеры в *мм*



Условные обозначения по ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56		Основные размеры по ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56								Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
8000	38000	d	d_1	d_2	D	H	H_2	a	r	Диаметр	Количество в одном ряду			
						Легкая серия								
8200		10	10,2		26	11			1	5,56	9		1 380	8000
+8201		12	12,2		28	11			1	5,56	10	13 200	1 550	8000
+8202	38202	15	15,2	10	32	12	22	5	1	5,56	12	15 000	1 850	8000
8203		17	17,2		35	12			1	5,56	13	16 000	2 000	6300
+8204	+38204	20	20,2	15	40	14	26	6	1	7,14	12	24 000	3 050	6300
+8205	+38205	25	25,2	20	47	15	28	7	1	7,94	13	31 000	4 100	6300
+8206К	+38206К	30	30,2	25	52	16	29	7	1	7,94	15	35 000	4 700	5000
+8207	+38207	35	35,2	30	62	18	34	8	1,5	9,53	15	48 000	6 800	5000
+8208	+38208	40	40,2	30	68	19	36	9	1,5	10,32	15	57 000	8 000	5000
+8209	+38209	45	45,2	35	73	20	37	9	1,5	10,32	17	60 000	9 000	4000
+8210	+38210	50	50,2	40	78	22	39	9	1,5	11,11	17	70 000	10 500	4000
+8211	+38211	55	55,2	45	90	25	45	10	1,5	12,7	16	86 000	13 000	3200
+8212	+38212	60	60,2	50	95	26	46	10	1,5	13,49	17	100 000	15 200	3200
+8213	38213	65	65,2	55	100	27	47	10	1,5	12,7	19	100 000	15 200	2500
+8214	+38214	70	70,2	55	105	27	47	10	1,5	12,7	20	100 000	16 000	2500
+8215	38215	75	75,2	60	110	27	47	10	1,5	12,7	21	104 000	17 000	2500
+8216	38216	80	80,2	65	115	28	48	10	1,5	13,49	21	116 000	19 000	2000
+8217	+38217	85	85,2	70	125	31	55	12	1,5	15,88	19	144 000	24 000	2000
+8218К	38218	90	90,2	75	135	35	62	14	2	17,46	17	170 000	26 000	1600
+8220	38220	100	100,2	85	150	38	67	15	2	19,84	17	200 000	33 000	1600
+8222	38222	110	110,2	95	160	38	67	15	2	19,84	18	210 000	35 000	1600
+8224	38224	120	120,2	100	170	39	68	15	2	19,84	20	220 000	39 000	1300
+8226	38226	130	130,3	110	190	45	80	18	2,5	23,81	18	270 000	51 000	1300
+8228	38228	140	140,3	120	200	46	81	18	2,5	23,81	19	290 000	53 000	1000
+8230		150	150,3		215	50			2,5	23,02	22	290 000	64 000	1000
8232		160	160,3		225	51			2,5	25,4	21	340 000	67 000	1000
8234		170	170,3		240	55			2,5					

Продолжение табл. 23

Условные обозначения по ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56		Основные размеры по ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56								Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в кГ	Предельное число оборотов в минуту
8000	38000	d	d_1	d_2	D	H	H_2	a	r	Диаметр	Количество в одном ряду			
+8236		180	180,3		250	56			2,5	27,78	21	400 000	81 000	800
8238		190	190,3		270	62			3					
+8240		200	200,3		280	62			3	31,75	21	500 000	105 000	630
+8244		220	220,3		300	63			3	31,75	22	550 000	110 000	630
8248		240	240,3		340	78			3,5					
8252		260	260,3		360	79			3,5					
+8256		280	280,3		380	80			3,5	38,1	24	730 000	174 000	400
+8260Г		300	300,3		420	95			4	44,45	22	920 000	200 000	400
8264		320	320,4		440	95			4					
+8268		340	340,4		460	96			4	44,45	25	950 000	245 000	320
+8272Г		360	360,4		500	110			5	53,98	22	1 070 000	320 000	320
8276		380	380,4		520	112			5					
8280		400	400,4		540	112			5					
8284		420	420,5		580	130			6					
8288		440	440,5		600	130			6					
+8292		460	460,5		620	130			6	57,15	26	1 440 000	425 000	250
+8296		480	480,5		650	135			6	63,5	24	1 560 000	480 000	250
82/500		500	500,5		670	135			6					
Средняя серия														
+8 305	38305	25	25,2	20	52	18	34	8	1,5	9,53	11	39 000	5 000	5000
+ 8306	38306	30	30,2	25	60	21	38	9	1,5	11,11	11	50 000	6 800	4000
+8307	38307	35	35,2	30	68	24	44	10	1,5	11,91	12	62 000	8 500	3200
+8308	38308	40	40,2	30	78	26	49	12	1,5	13,49	12	78 000	11 000	3200
+8309	38309	45	45,2	35	85	28	52	12	1,5	14,29	13	90 000	13 200	3200
+8310	38310	50	50,2	40	95	31	58	14	2	15,88	13	108 000	16 200	2500
+8311	38311	55	55,2	45	105	35	64	15	2	18,26	13	140 000	21 500	2500
+8312	38312	60	60,2	50	110	35	64	15	2	18,26	13	140 000	21 500	2000
+8313	38313	65	65,2	55	115	36	65	15	2	19,05	14	158 000	25 000	2000
+8314	38314	70	70,2	55	125	40	72	16	2	20,64	10	182 000	30 000	2000
+8315	38315	75	75,2	60	135	44	79	18	2,5	22,23	14	210 000	34 500	1600
+8316	+38316	80	80,2	65	140	44	79	18	2,5	22,23	14	210 000	34 500	1600
8317	38317	85	85,2	70	150	49	87	19	2,5	25,4	13	245 000	42 000	1300
+8318	38318	90	90,2	75	155	50	88	19	2,5	25,4	14	260 000	45 000	1300
+8320	38320	100	100,2	85	170	55	97	21	2,5	26,99	14	280 000	51 000	1000
+8322	38322	110	110,2	95	190	63	110	24	3	31,75	13	350 000	65 000	1000
+8324	38324	120	120,2	100	210	70	123	27	3,5	35,72	13	420 000	82 500	800
+8326		130	130,3		225	75			3,5	38,1	13	460 000	94 000	800
8328		140	140,3		240	80			3,5					
+8330		150	150,3		250	80			3,5	38,1	14	520 000	102 000	630
8332		160	160,3		270	87			4					
8334		170	170,3		280	87			4					
+8336		180	180,3		300	95			4	44,45	15	670 000	148 000	500

Продолжение табл. 23

Условные обозначения по ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56		Основные размеры по ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56								Шарики		Коэффициент работоспособности C	Допустимая статическая нагрузка $Q_{ст}$ в $кГ$	Предельное число оборотов в минуту
8000	38000	d	d_1	d_2	D	H	H_2	a	r	Диаметр	Количество в одном ряду			
8338		190	190,3		320	105			5					
+8340		200	200,3		340	110			5	53,98	14	850 000	204 000	400
8344		220	220,3		360	112			5					
8348		240	240,3		380	112			5					
8352		260	260,3		420	130			6					
8356		280	280,3		440	130			6					
8360		300	300,3		480	140			6					
8364		320	320,4		500	140			6					
+8368		340	340,4		540	160			6	76,2	16	1 500 000	460 000	250
8372		360	360,4		560	160			6					
8376		380	380,4		600	175			8					
8380		400	400,4		620	175			8					
8384		420	420,5		650	180			8					
8388		440	440,5		680	190			8					
8392		460	460,5		710	195			8					
8396		480	480,5		730	195			8					
83/500		500	500,5		750	195			8					
					Тяжелая серия									
+8420Г2		100	100,2		210	85			4	44,45	10	500 000	98 500	630
8422		110	110,2		230	95			4					
8424		120	120,2		250	102			5					
+8426		130	130,3		270	110			5	57,15	10	730 000	163 000	500
8428		140	140,3		280	112			5					
8430		150	150,3		300	120			5					
8432		160	160,3		320	130			6					
8434		170	170,3		340	135			6					
8436		180	180,3		360	140			6					
8438		190	190,3		380	150			6					
8440		200	200,3		400	155			6					
8444		220	220,3		420	160			8					
8448		240	240,3		440	160			8					
8452		260	260,3		480	175			8					
8456		280	280,3		520	190			8					
8460		300	300,3		540	190			8					

ВЕСА ШАРИКО- И РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

24. Веса шарико- и роликоподшипников в *кГ*

Шарикоподшипники радиальные однорядные (ГОСТ 8338-57)

Диаметр отверстия подшипника *d* в *мм*	Размерные серии											
	1000900		7000100		100		200		300		400	
	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор
2	0,00033	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	0,0016	—	—	—	—	—
4	0,0021[1])	—	—	—	—	—	0,003	—	0,005	—	—	—
5	0,0025[1])	—	—	—	—	—	0,005	—	0,008	—	—	—
6	0,004[1])	—	—	—	—	—	0,008	—	—	—	—	—
7	0,005[1])	—	—	—	0,007	—	0,012	—	—	—	—	—
8	0,008[1])	—	—	—	0,012	—	—	—	—	—	—	—
9	0,007[1])	—	—	—	—	—	0,02	—	—	—	—	—
10	0,009[1])	—	—	—	0,02	0,019[2])	0,03	0,037[3])	0,049	—	—	—
12	0,01	0,013[3])	0,018	—	0,021	—	0,037	0,046[3])	0,059	0,098[3])	—	—
15	0,017[1])	—	0,025	0,033[3])	—	—	0,046	0,053[3])	0,082	0,083[2])	—	—
17	0,018	—	0,036	0,05[3])	—	—	0,065	0,08[3])	0,109	0,137[3])	0,274	0,33[3])
20	0,035	0,044[3])	—	—	0,069	0,071[4])	0,107	0,144[3])	0,143	0,178[2])	0,415	—
25	0,041	0,052[3])	0,056	0,077[3])	0,080	0,109	0,125	0,164[3])	0,229	0,277[3])	0,55	—
30	0,049	0,062[3])	—	0,102[3])	0,117	0,138[3])	0,205	0,204[2])	0,339	0,338[2])	0,722	—
35	0,077	—	0,111	0,131	0,188	—	0,289	—	0,434	—	0,923	0,952[2])
40	—	—	0,126	0,15[3])	—	0,239	0,359	0,356[2])	0,635	0,7	1,17	—
45	0,121	—	0,208	0,209	0,253	0,305	0,407	—	0,797	0,992	1,52	1,73[3])
50	—	—	—	0,212[3])	0,265	0,264[4])	0,461	0,533	1,07	—	1,90	—
55	—	—	—	0,313	—	0,513	0,601	0,744[3])	1,35	1,37[2])	2,3	—
60	—	0,237	0,29	—	0,387	0,594	0,797	—	1,70	2,16	2,8	—
65	0,219	0,251	—	0,342[3])	0,442	0,527	0,983	1,25	2,2	2,68	3,44	—
70	—	—	—	0,61	0,596	0,7	1,08	1,11[4])	2,53	—	5,24	—
75	—	0,383[3])	—	—	0,652	0,791	1,18	1,52	3,02	3,66[5])	5,95	6,26
80	0,337	0,428	—	—	—	1,02	1,4	1,74	3,58	4,55	7	8,71
85	—	0,685	—	—	—	—	1,8	2,14[3])	4,24	—	7,93	—
90	—	0,894	—	—	—	1,43	2,15	2,74	5,05	—	10,1	—
95	—	—	—	—	—	—	2,7	—	5,63	6,64	—	—
100	—	—	—	—	—	1,29	3,2	4,04	7,0	8,93	—	—
105	—	1,02[5])	—	—	—	1,87[3])	3,63	—	8,14	—	—	—
110	—	0,948	—	—	—	—	4,5	5,65	9,79	—	—	—
120	—	1,37	—	—	—	2,46	5,24	6,69	12,3	14,5[5])	—	—
130	—	1,88	—	—	4	—	6,27	7,72	—	18,7[5])	—	—
140	—	2,13	—	—	—	—	—	9,82	—	—	—	—

Продолжение табл. 24

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии											
	1000900		7000100		100		200		300		400	
	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор
150	—	3,54	—	3,72	—	5,04	—	12,3	27,6	—	—	—
160	—	3,17	—	—	—	6,4	—	15	—	—	—	—
170	—	—	—	—	—	8,6	—	—	—	—	—	—
180	—	5,14	—	8,3	—	11,1	—	—	—	—	—	—
190	—	—	—	—	—	—	—	23,3	—	—	—	—
200	—	7,64	—	—	—	13,5[5]	—	—	—	—	—	—
220	—	8,11	—	13,5	—	—	32,4	—	—	—	—	—
240	—	9,6	—	—	—	22,4	—	—	—	—	—	—
260	—	15	—	—	—	33,6	—	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
320	—	23[4]	—	—	—	48,2	—	—	—	—	—	—
340	—	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
360	—	—	—	—	—	71,5	—	—	—	—	—	—

Примечание. Массивные сепараторы, не отмеченные сносками, — из латуни.

[1]) Сепаратор латунный штампованный.

[2]) Сепаратор из текстолита.

[3]) Сепаратор из бронзы.

[4]) Сепаратор из легкого сплава.

[5]) Сепаратор массивный из стали.

Шарикоподшипники радиальные однорядные (ГОСТ 7242-54, ГОСТ 8882-58)

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии						Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии					
	60 100	60 200	60 300	80 100	80 200	180 500		60 100	60 200	60 300	80 100	80 200	180 500
	Стальной штампованный сепаратор							Стальной штампованный сепаратор					
4	—	0,003[1])	—	—	0,003[1])	—	10	—	0,029	0,048	—	0,029	0,052[2])
5	—	0,005	—	—	—	—	12	—	0,036	0,059	—	0,036	0,063[3])
7	—	0,012[1])	—	—	0,0124[1])	—	15	—	0,043	0,081	—	0,042	0,076[3])
8	0,011[1])	—	—	0,0116[1])	—	—	17	—	0,065	0,108	—	0,064	—
9	—	0,019[1])	—	—	0,019[1])	—	20	0,067	0,106	0,141	0,068	0,104	0,139[2])
							25	—	0,121	0,225	—	0,117	—

Продолжение табл. 24.

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии						Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии					
	60 100	60 200	60 300	80 100	80 200	180 500		60 100	60 200	60 300	80 100	80 200	180 500
	Стальной штампованный сепаратор							Стальной штампованный сепаратор					
30	0,115	0,188	0,333	0,144[3])	—	0,253[2])	60	—	0,793	—	—	0,773	—
35	—	0,285	0,436	—	0,284	—	65	—	—	—	—	0,952	—
40	—	0,355	0,637	0,188	0,351	0,452	70	—	1,06	—	—	—	—
45	—	0,406	0,8	—	0,406	0,506[2])	75	—	—	—	—	1,17	—
50	—	—	1,07	—	—	—	90	—	—	—	—	2,17	—
							100	1,28	3,2	—	—	—	—

[1]) Латунный штампованный сепаратор.
[2]) Сепаратор из текстолита.
[3]) Сепаратор из бронзы.

Шарикоподшипники радиальные сферические (ГОСТ 5720-51)

Диаметр отверстия подшипника или отверстия втулки d, d_1 в мм	Размерные серии								
	1200	1200	11200	1300	11300	1500	11500	1600	11600
	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор (латунь)	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор (латунь)	Стальной штампованный сепаратор				
10	0,035	—	—	0,06	—	—	—	—	—	—
12	0,042	—	—	0,07	—	—	—	—	—	—
15	0,051	—	—	0,099	—	—	—	—	—	—
17	0,076	—	0,18	0,138	—	0,23	—	0,2	—	0,29
20	0,119	—	0,232	0,164	—	0,323	0,143	0,231	0,211	0,455
25	0,144	—	0,333	0,258	—	0,504	0,165	0,38	0,353	0,611
30	0,225	—	0,477	0,388	—	0,701	0,267	0,578	0,483	0,874
35	0,318	—	0,589	0,538	—	0,895	0,408	0,672	0,685	1,14
40	0,412	—	0,698	0,705	—	1,21	0,498	0,807	0,917	1,53
45	0,488	—	0,802	0,96	—	1,48	0,565	0,904	1,24	1,95
50	0,543	—	1,04	1,19	—	1,90	0,61	1,17	1,65	2,52
55	0,724	—	1,25	1,57	—	2,39	0,738	1,50	2,09	3,04
60	0,894	—	1,57	1,81	—	2,81	1,12	1,97	2,6	3,82
65	1,15	—	2,11	2,38	—	4,39	1,47	2,5	3,21	6,15
70	1,28	—	2,57	2,97	—	5,42	1,58	3,08	3,92	7,18
75	1,4	—	3,15	3,64	—	6,38	1,68	3,73	5,05	8,34
80	1,68	—	3,8	4,42	4,7	7,1	2,06	4,64	6,2[1])	9,83

Диаметр отверстия подшипника или отверстия втулки d, d_1 в *мм*	Размерные серии								
	1200	1200	11200	1300		11300	1500	11500	1600	11600
	Стальной штампованный сепаратор	Массивный сепаратор (латунь)	Стальной штампованный сепаратор		Массивный сепаратор (латунь)	Стальной штампованный сепаратор				
85	2,1	—	4,5	5,23	5,35	8,33	2,59	5,74	6,93	—
90	2,61	—	5,16	5,79	6,17	10	3,26	6,5	8,21	—
95	3,12	3,22	6,11	6,75	—	—	3,97	—	—	—
100	3,68	3,83	7,17	8,36	9,11	—	4,86	—	—	—
105	—	4,64	—	—	10,3	—	—	—	—	—
110	—	5,4	9,48	—	12,1	—	—	—	—	—
120	—	6,77	—	—	—	—	—	—	—	—

[1] Сепаратор массивный из латуни.

Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами однорядные (с массивными сепараторами из латуни) (ГОСТ 8328-57)

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии																
	1002900	1032900	2100	32100	2200	12200	32200	42200	92200	2500	32500	2300	12300	32300	42300	62300	92300
15	—	—	—	—	0,052	—	—	—	—	—	—	—	0,105	0,109[1])	—	—	—
17	—	—	—	—	0,084	0,081	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	0,087	—	—	0,133	—	0,132	—	—	—		—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	0,155	—	—	0,187	—	0,284	—	0,29	0,297	—	—
30	—	—	—	—	0,24	—	—	—	0,235	—	—	0,423	0,425	0,43	—	—	—
35	—	—	—	—	0,341	0,354	0,352	0,361	—	0,474	0,477	0,522	—	0,536	0,549	—	—
40	—	—	—	—	0,439	0,456	0,448	—	—	—	—	0,719	0,759	0,778	—	—	0,802
45	—	—	—	—	0,477	—	0,49	0,504	—	—	—	0,973	—	1,02	—	—	—
50	—	—	0,333	—	0,568	0,582	0,571	0,589	—	—	—	1,26	—	1,33	1,36	1,51	—
55	—	—	0,481	—	0,739	—	0,745	0,753	—	—	—	1,6	1,65	1,66	1,7	—	—
60	0,255	—	—	—	0,955	—	0,97	1,03	—	—	—	2,05	—	2,15	2,19	—	—
65	—	—	—	—	1,24	—	—	—	—	—	—	2,48	—	2,59	—	—	—
70	—	—	—	—	1,34	—	—	—	—	—	—	3,18	—	3,16	3,25	—	3,31
75	—	—	—	—	1,41	—	1,46	—	—	—	—	3,71	—	3,81	3,88	4,27	—
80	—	—	—	1,08[1])	1,78	—	1,78	1,83	—	—	—	4,31	—	4,46	—	—	—
85	—	—	—	—	2,23	—	2,15	2,27	2,26	—	—	5,14	—	5,43	5,5	—	5,55
90	—	—	—	1,46[1])	2,63	2,75	2,77	2,82	2,83	—	—	6,13	6,23	6,16	—	6,98	—
95	—	—	—	1,59[1])	—	—	—	—	—	4,35	—	7,21	—	7,27	—	—	—
100	0,86[2])	0,881	—	—	4,07	—	4,1	4,21	—	5,57	5,62	8,48	8,68	8,83	9	—	9,0
105	—	—	—	1,84	4,54	—	4,61	4,72	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 24

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии																
	1002900	1032900	2100	32100	2200	12200	32200	42200	92200	2500	32500	2300	12300	32300	42300	62300	92300
110	—	—	—	2,17[2])	5,38	—	5,4	—	5,65	7,39	—	12,4	—	12,5	—	—	—
120	—	1,31	2,52	2,55	6,42	—	6,44	6,62	6,75	9,39	9,59	15,4	—	15,4	15,7	—	—
130	2	2,03	—	—	7,42	—	7,46	—	—	11,6	11,7	18,4	—	18,6	19	—	19,24
140	—	—		3,75[1])	9,1	9,7	9,52	—	—	—	—	22,4	—	22,6	22,9	—	23,34
150	—	—	—	—	11,8	—	12,2	12,4	12,8	—	—	26,8	—	—	—	—	—
160	—	2,99	5	—	—	—	—	—	—	—	—	31,5	—	32,3	—	—	—
170	—	—	8,25	8,31	18,2	—	18	18,3	—	30	30,1	37,1	—	37,7	—	—	—
180	—	—	11	11,1	—	—	—	—	—	—	—	44,3	—	44,9	—	—	—
190	—	—	—	—	22,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	—	—	—	13,6[2])	27,2	—	27,5	28,1	27,9	—	—	56,7	—	57,4	—	—	—
220	—	8,37	18,6	18,9	37,7	—	38,3	39	—	61,6	62,1	—	—	—	—	—	—
260	—	—	29,6	30,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[1]) Сепаратор из бронзы.
[2]) Сепаратор из легкого сплава.

Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами однорядные (с массивными сепараторами из латуни) по ГОСТ 8328-57

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии											
	2 600	12 600	32 600	42 600	52 600	62 600	92 600	2 400	32 400	42 400	62 400	92 400
25	—	—	0,407	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	0,706	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	0,792	—	0,82	0,848	—	—	—	1,13	—	—	—	—
40	1,06	—	1,09	—	—	—	—	1,46	1,49	—	—	—
45	1,38	1,4	—	—	—	—	—	—	—	1,94	—	—
50	1,96	1,85	2	—	—	—	—	2,28	2,32	2,36	—	—
55	2,4	—	—	—	—	—	—	2,87	2,91	2,96	—	—
60	3,11	—	3,16	3,17	3,4	3,42	—	3,37	3,41	3,47	—	3,48
65	3,77	—	3,65	3,69	3,98	4,01	—	4,32	4,54	4,6	—	—
70	—	—	—	—	—	—	—	6,03	6,16	6,24	6,8	—
75	5,7	—	5,72	5,81	—	—	6,05	7,11	7,58	7,71	8,42	—
80	6,81	—	6,92	7,05	—	—	—	8,21	8,25	—	—	—
85	7,61	—	7,79	—	—	—	8,0	9,78	9,9	10,1	11	10,5
90	—	—	—	8,76[1])	9,24[1])	—	—	11,6	11,8	12	—	—

Продолжение табл. 24

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии											
	2 600	12 600	32 600	42 600	52 600	62 600	92 600	2 400	32 400	42 400	62 400	92 400
95	10,8	—	11	—	—	—	—	13,8	13,8	—	—	—
100	13,7	—	13,8	14	—	—	—	15,8	16	16,3	—	—
105	—	—	—	—	—	—	—	17,4	17,6	—	—	—
110	18,8	—	19	19,4	—	—	—	22,1	22,6	23	—	—
120	23	—	23,5	23,8	24,9	—	—	30,5	30,2	—	—	—
130	29,9	—	31,4	31,9	33,2	—	—	40,2	38,7	39,2	—	40
140	—	—	—	—	—	—	—	47,2	47,9	48,8	—	49,5
150	43	—	43,4	44,7	46,3	—	—	—	—	—	—	—
160	—	—	53,5	—	—	—	55,5	—	—	—	—	—
170	62,3	—	63,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[1]) Сепаратор из чугуна.

Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами (ГОСТ 8328-57, ГОСТ 5377-60, ГОСТ 7634-56)

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии					Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии				
	102 200	102 300	292 200[1])	502 200[1])	3 182 100[1])		102 200	102 300	292 200[1])	502 200[1])	3 182 100[1])
15	0,045	—	0,045[2])	—	—	105	—	—	—	—	2,86
17	—	—	0,065	—	—	110	—	—	—	3,46	3,53
20	—	0,164	0,088	—	—	120	—	—	—	—	3,89
25	0,142	0,255	—	—	0,12	130	—	—	—	—	5,36
30	—	0,396	—	—	0,186	140	—	—	—	—	6,06
36	—	0,52	0,28	0,202	0,252	150	—	—	9,47	—	7,57
40	0,424	0,666	—	0,4	0,317	160	—	—	—	—	8,39
45	0,492	—	—	0,304	0,4	170	—	—	13,5	—	12,9
50	0,529	1,21	—	—	0,428	180	—	—	—	—	16,9
55	0,712	1,5	0,566	—	0,616	200	—	—	—	—	22
60	0,833	—	—	1,11	0,69						
65	—	2,38	—	—	—	220[2])	—	—	—	—	29,4
70	—	2,97	—	—	1,06	240	—	—	—	—	32,7
75	—	—	1,13	—	1,12	260	—	—	—	—	47
80	—	4,09	—	—	1,51	280	—	—	—	—	49,2
85	—	—	—	—	1,64	300	—	—	—	—	69,6
90	—	—	2,09	1,74	2,03	320	—	—	—	—	74,9
95	—	—	—	—	2,13	340	—	—	—	—	100,0
100	—	—	3,19	—	2,19	460	—	—	—	—	198,0

[1]) Сепараторы подшипников типов 292200, 502200 и 3182100 из латуни.
[2]) Сепаратор из бронзы.

Продолжение табл. 24

Роликоподшипники радиальные сферические двухрядные (ГОСТ 5721-57)

Сепараторы массивные из латуни

Диаметр отверстия подшипника или отверстия втулки d, d_1 в *мм*	Размерные серии						Диаметр отверстия подшипника или отверстия втулки d, d_1 в *мм*	Размерные серии					
	3003100	3500	13500	3600	113600	13600		3003100	3500	13500	3600	113600	13600
35	—	—	—	—	—	1,31	135	—	—	23,3	—	—	46,7
40	—	—	—	1,03	—	1,71	140	—	14,5	29,9	35,6	—	59,4
45	—	—	—	1,36	—	2,19	150	—	18,1	38,5	43,4	—	69,9
50	—	—	—	1,88	—	2,78	160	10,3	23,1	39	51,2	—	80,5
55	—	—	—	2,31	—	3,37	170	—	27,3	45,9	60,4	—	92,3
60	—	—	—	3,1	—	4,0	180	—	30	54,5	70,1	—	105
65	—	—	—	3,65	—	6,0	190	—	36,6	—	81,5	—	—
70	—	—	3,27	4,02	—	7,77	200	—	44,7	—	93,7	—	—
75	—	1,82	3,94	5,29	—	8,37	220	—	64,6	—	128[1]	—	—
80	—	2,23	4,7	6,61	—	10,1							
							240	35,5	—	125	154	—	212
85	—	2,66	5,76	6,95	—	11,6	260	—	104	—	195	189	—
90	—	3,39	6,75	9,3	8,77	15	280	63,3	125	—	238	234	—
95	—	4,05	—	9,61	—	—	300	75,2	—	—	—	—	—
100	—	5,15	9,4	13	—	20,4	320	81,5	—	—	—	—	—
110	—	7,46	11,3	17,9	—	25,3	380	122	—	—	—	—	—
115	—	—	14,6	—	—	31	400	154	—	—	647	—	—
120	—	9,27	—	23,7	—	—	460	221	—	—	—	—	—
125	—	—	18,8	—	—	39,3	480	230	—	—	—	—	—
130	—	11,3	—	27,9	—	—							

[1]) Сепаратор массивный из стали.

Роликоподшипники игольчатые с одним наружным штампованным кольцом (ГОСТ 4060-48)

Диаметр по роликам d в *мм*	Размерные серии			Диаметр по роликам d в *мм*	Размерные серии		
	941	942	943		941	942	943
	Узкая серия	Нормальная серия	Широкая серия		Узкая серия	Нормальная серия	Широкая серия
6	0,002	—	—	25	0,033	0,047	0,049
7	0,004	—	0,007	30	—	0,064	0,085
8	—	0,008	—	32	—	0,071	—
12	0,009	—	—	35	—	0,075	0,095
15	0,011	0,015	—	40	—	—	0,177
17	0,016	—	—	45	—	—	0,181
20	0,022	0,028	0,035	50	—	—	0 216

Роликоподшипники с игольчатыми и витыми роликами (ГОСТ 4657-60, ОСТ 26005)

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии							Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии						
	4074800	4074900 3074900	4024900	4074100	4024100	5200	5300		4074800	4074900 3074900	4024900	4074100	4024100	5200	5300
17	—	—	—	0,098	0,067	—	—	90	—	1,55	0,927	—	—	6,03	—
20	—	—	—	0,176	0,124	—	—	95	—	1,61	0,965	—	—	—	—
25	—	0,109	—	0,2	0,134	—	—	100	—	2,29	1,32	—	—	8,98	—
30	—	—	—	0,311	0,202	—	0,594	105	0,851	—	—	—	—	—	—
35	—	—	—	0,419	0,272	—	0,865	110	—	2,40	1,57	—	—	11,9	—
40	—	—	—	0,495	0,306	—	—	120	1,37	3,47	2,07	—	—	14,8	—
45	—	—	—	0,631	0,385	—	—	130	—	4,48	2,74	—	—	—	—
50	—	—	—	0,687	0,44	1,26	—	140	—	5,11	3,05	—	—	26,9	—
55	—	—	—	0,965	0,6	—	—	150	—	7,7	4,09	—	—	29,8	—
60	—	—	—	1,11	0,692	2,11	—	160	—	—	—	—	—	35,9	—
65	—	0,56	—	1,18	0,724	—	—	180	5,03	—	—	—	—	52,2	—
70	—	—	—	1,74	1,04	3,35	—	190	—	8,68	—	—	—	—	—
75	—	0,867	—	1,8	1,10	3,85	—	220	—	15	—	—	—	—	—
80	—	—	—	2,46	1,46	4,21	—	260	—	27,7	—	—	—	—	—
85	—	1,49	—	2,58	1,53	5,08	—								

Шарикоподшипники радиально-упорные однорядные и двухрядные с массивным латунным сепаратором (ГОСТ 831-54, ГОСТ 4252-48)

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии									
	6100	46100	6200	36200	46200	36300	46300	66300	66400	3056200
3	—	—	0,0016	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	0,005	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	0,008	—	—	—	—	—	—	—
7	0,007[1])	—	0,013	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	0,015	—	—	—	—	—	—	—
10	0,017[1])	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0,021[1])	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	0,028[1])	—	—	—	0,045[1])	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 24

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии									
	6100	46100	6200	36200	46200	36300	46300	66300	66400	3056200
20	—	—	0,104	0,117	0,117	—	0,174	—	—	0,168
25	—	—	—	0,144	0,144	0,279	0,279	—	—	0,195
30	—	—	—	0,232	0,232	—	0,402	—	0,77	0,314
35	—	—	—	0,338	0,289[1]	—	0,542	—	1,05	0,488[2]
40	—	—	—	0,436	0,436	0,747	0,747	—	1,37	0,637
45	—	—	—	0,487	0,487	—	0,868[1]	—	1,8	0,718
50	—	—	—	0,529	0,529	—	1,32	—	2,26	—
55	—	—	—	—	0,72	—	1,72	1,64	—	1,12
60	—	0,474	—	0,766[1]	0,939	—	2	—	3,37	—
65	—	—	—	—	1,17	—	—	—	—	—
70	—	0,717	—	1,28	—	—	3,3	3,1	—	1,85
75	—	0,776	—	—	1,39	—	—	—	—	—
80	—	1	—	1,68	1,68	—	—	—	—	2,57
85	—	1,04	—	—	—	—	—	5,03	—	—
90	—	1,42	—	—	2,64	6,45	5,71	6,09	11,7	—
95	—	—	—	3,21	—	—	—	—	—	—
100	—	1,56	—	—	3,88	—	8,38	—	—	—
110	—	2,41	—	—	5,5	—	—	11,2	—	—
120	—	2,42	—	—	6,45	—	—	—	—	—
130	—	4,13	—	—	7,36	—	—	—	—	—
150	—	4,97	—	—	12,90	—	27,4	—	—	—
170	—	8,2	—	18,8	18,8	—	—	—	—	—
180	—	10,7	—	—	—	—	—	—	—	—
200	—	—	—	28	—	—	—	59,5	—	—
220	—	—	—	—	41,2	—	—	—	—	—

Примечание. Сепараторы подшипников 3056200, не отмеченные сносками, — из стальной ленты

[1]) Сепараторы из текстолита.
[2]) Дюралевые сепараторы.

Шарикоподшипники радиально-упорные однорядные с разъемными кольцами с латунным массивным сепаратором (ГОСТ 8995-59)

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии					Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии				
	176100	1176700	116200	176200	176300		176100	1176700	116200	176200	176300
25	—	—	—	—	0,394[1]	100	2,7	2,7	—	3,65[2]	—
35	—	—	0,356	—	—	110	—	—	5,63[1]	—	—
40	—	—	0,459	—	0,81	120	—	4,76[2]	—	—	—
45	—	—	0,5[1]	—	—	140	3,54[1]	—	—	8,26[1]	—
50	—	—	0,586			150	4,59[1]	—	—	—	—
55	—	—	0,674	—	—	160	—	—	—	15,4	—
65	—	—	1,12[1]	—	—	170	9	—	—	—	—
75	—	—	1,34[1]	—	—	190	—	—	—	24,1	—
90	—	—	2,84	—	—	200	13,9	—	—	—	—
95	1,52[2]	—	—	—	—						

[1]) Сепараторы из легкого сплава (дуралюмин).
[2]) Сепараторы из бронзы.

Роликоподшипники конические (ГОСТ 333-59, ГОСТ 7260-54, ГОСТ 6364-52, ГОСТ 8419-57)

Диаметр отверстия подшипника d в *мм*	Размерные серии										
	2007100	7200	7500	7300	7600	27300	2097900	2097100	2097700	97500	1077700
15	—	0,054	—	0,09	—	—	—	—	—	—	—
17	—	0,074	—	0,13	—	—	—	—	—	—	—
20	—	0,118	—	0,17	0,236	0,175	—	—	—	—	—
25	—	0,15	—	0,253	0,366	0,265	—	—	—	—	—
30	0,169	0,233	0,29	0,38	0,574	—	—	—	—	—	—
35	0,224	0,327	0,449	0,496	0,805	—	—	—	—	—	—
40	0,27	0,446	0,576	0,703	1,03	0,766	—	—	—	—	—
45	0,333	0,47	0,618	1,01	1,34	—	—	—	—	—	—
50	—	0,539	0,64	1,33	1,82	—	—	—	—	1,4	—
55	0,541	0,709	0,825	1,64	2,43	—	—	—	—	—	—
60	—	0,895	1,19	2,0	3,01	—	—	—	—	2,58	—
65	0,62	1,18	1,57	2,53	3,74	2,4	—	—	—	—	—
70	—	1,33	1,6	3,09	4,44	—	—	—	—	—	—
75	—	1,42	1,76	3,63	5,38	—	—	—	—	3,79	—

Продолжение табл. 24

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии										
	2007100	7200	7500	7300	7600	27300	2097900	2097100	2097700	97500	1077700
80	1,34	1,67	2,15	4,35	5,9	—	—	—	—	4,76	—
85	—	2,26	2,8	5,21	7,62	4,7	—	—	—	—	—
90	1,63	2,52	3,54	5,56	8,78	—	—	—	—	7,77	—
95	1,75	3,2	4,42	7,02	10,5	—	—	—	—	9,71	—
100	1,82	3,81	5,14	8,54	13,2	8,8	—	—	—	11,6	—
105	—	4,5	5,38	9,72	15,0	—	—	—	—	13,7	—
110	2,91	5,29	7,37	11,3	17,6	—	—	—	—	—	—
120	3,11	6,3	9,2	14,5	21,9	15,4	—	—	—	—	—
130	—	7,43	11,8	—	—	—	—	—	13,5	25,3	—
140	5,08	8,64	14,9	—	—	23	—	—	—	—	—
150	—	10,3	18	25	—	—	—	—	25,8	39,1	—
160	7,74	—	12,2	—	—	—	—	—	34,9	—	—
180	13,4	20	27,6	—	—	46	12,9	27,9	43,3	—	—
190	—	—	35,4	—	—	—	13,2	—	51,5	—	—
200	18,5	—	—	—	—	63	20,8	39,3	63	—	—
220	22,3	34,9	—	—	—	—	21,1	48,0	—	—	—
240	26	—	—	—	—	—	22	54,5	98	—	—
260	36,9	—	—	112	—	—	36,8	76,8	127	—	—
280	39,2	—	—	—	—	—	—	84,5	—	—	—
300	55,9	—	—	—	—	—	62,9	—	143	—	—
340	—	—	—	—	—	—	71	119	226	—	—
360	—	—	—	—	—	—	74,3	127	—	—	—
380	—	—	—	—	—	—	84,4	—	243	—	520
400	—	—	—	—	—	—	—	180	—	—	—
420	—	—	—	—	—	—	—	187	399	—	—
440	—	—	—	—	—	—	—	213	—	—	—
460	—	—	—	—	—	—	134	253	—	—	—
480	—	—	—	—	—	—	151	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	164	288	—	—	—
530	—	—	—	—	—	—	190	—	—	—	—
560	—	—	—	—	—	—	235	410	832	—	1636
600	—	—	—	—	—	—	242	503	—	—	—
630	—	—	—	—	—	—	368	599	—	—	—
670	—	—	—	—	—	—	—	—	1370	—	2664
710	—	—	—	—	—	—	415	804	—	—	—
750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4000
800	—	—	—	—	—	—	604	—	—	—	—
850	—	—	—	—	—	—	636	—	—	—	—
950	—	—	—	—	—	—	930	—	—	—	—

Шарикоподшипники упорные одинарные и двойные (ГОСТ 6874-54 и ГОСТ 7872-56)

Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии					Диаметр отверстия подшипника d в мм	Размерные серии				
	8100	8200	38200	8300	8400		8100	8200	38200	8300	8400
10	0,02	0,03	—	—	—	120	1,25[1])	2,97[1])	5,26[2]	10,6[1])	—
12	0,023	0,034	—	—	—	130	1,92[1])	4,54[1])	—	13,9[1])	31,8[1])
15	0,024	0,046	0,09	—	—	140	2,14[1])	4,92[1])	—	15,9	—
17	0,027	0,053	—	—	—	150	2,25[1])	6,54[1])	—	17,1[1])	43[1]
20	0,039	0,079	0,16	—	—	160	2,42[1])	6,9[1])	—	—	—
25	0,059	0,111	0,218	0,173	—	170	3,1[1])	8,3[1])	—	22,4[1])	—
30	0,068	0,141	0,271	0,268	—	180	3,24[1])	9,0[1])	—	28,5[1])	71,2[1])
35	0,084	0,223	0,40	0,386	—	190	4,1[1])	11,9[1])	—	—	—
40	0,124	0,271	0,533	0,548	—	200	4,41[1])	12,7[1])	—	44,2[1])	—
45	0,148	0,319	0,61	0,682	—	220	4,8[1])	13,9[1])	—	—	—
50	0,162	0,384	0,70	0,95	—	240	7,61[1])	—	—	—	—
55	0,234	0,591	1,12	1,34	—	260	8,24[1])	—	—	—	—
60	0,29	0,675	1,30	1,40	—	280	12,3[1])	28,2[1])	—	—	—
65	0,33	0,747	1,36	1,57	4,36	300	17,5[1])	44,2[1])	—	—	—
70	0,36	0,788	1,50	2,09	—	320	19,2[1])	—	—	—	—
75	0,402	0,843	1,57	2,66	—	340	20,5[1])	49[1])	—	148	—
80	0,425	0,936	1,69	2,75	—	360	22[1])	71[1])	—	—	—
85	0,452	1,24	2,3	3,7	—	400	23,4[1])	—	—	—	—
90	0,661	1,77	3,2	3,79	—	460	—	119[1])	—	—	—
100	0,993	2,49[1])	4,3	5,25[1])	15,0	480	—	138[1])	—	—	—
110	1,06[2])	2,69[3])	—	7,88[1])	—						

[1]) Массивный латунный сепаратор.
[2]) Массивный стальной сепаратор.
[3]) Массивный сепаратор из легкого сплава.

СВОБОДНЫЕ ДЕТАЛИ

25. Шарики из хромистой стали ШХ

Диаметр шарика $d_ш$		Вес 1000 шт. в кГ	Количество шариков в одном кГ	Диаметр шарика $d_ш$		Вес 1000 шт. в кГ	Количество шариков в одном кГ
в дюймах	в мм			в дюймах	в мм		
—	1	0,004	250 000	9/16	14,288	12,0	83
1/16	1,588	0,016	62 500	—	15	13,9	71
—	2	0,033	30 300	19/32	15,081	14,1	70
3/32	2,381	0,055	18 200	5/8	15,875	16,5	60
—	2,5	0,064	15 600	—	16	16,8	59
—	3	0,110	9 100	21/32	16,669	19,1	52
1/8	3,175	0,130	7 700	11/16	17,463	21,9	45
—	3,6	0,174	5 750	23/32	18,256	25,0	40
5/32	3,969	0,250	4 000				
—	4	0,263	3 850	3/4	19,050	28,4	35
—	4,5	0,371	2 700	25/32	19,844	32,4	30
3/16	4,763	0,440	2 270	13/16	20,638	36,2	27
—	5	0,514	1 960	7/8	22,225	45,2	22
13/64	5,169	0,559	1 790	29/32	23,019	50,0	20
	5,5	0,676	1 480	15/16	23,813	55,5	18
7/32	5,556	0,700	1 430	1	25,40	67,4	14
15/64	5,953	0,860	1 160	1 1/16	26,988	80,8	12
—	6	0,882	1 136	1 1/8	28,576	95,5	10
1/4	6,350	1,03	970	—	30	110	9
—	6,5	1,12	896	1 3/16	30,163	113	8
—	7	1,40	717	1 1/4	31,750	132	7
9/32	7,144	1,50	666	1 5/16	33,338	152	6
5/16	7,938	2,05	487	1 3/8	34,925	175	5
—	8	2,08	480	1 13/32	35,720	186	5
11/32	8,731	2,68	373	1 1/2	38,10	227	4
—	9	3,00	338	—	40	263	3
3/8	9,525	3,55	281	1 3/4	44,450	361	2
—	10	4,11	244	—	50	514	2
13/32	10,319	4,43	225	2	50,80	539	1
—	11	5,41	185	—	60	883	1
7/16	11,113	5,64	177	2 1/2	63,50	1052	—
15/32	11,906	6,93	144	3	76,20	1818	—
—	12	7,10	140	—	100	4108	—
1/2	12,70	8,42	118	4	101,60	4310	—
17/32	13,494	10,1	99	6	152,4	14550	—
—	14	11,3	88				

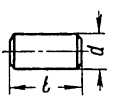
26. Шарики из нержавеющей стали марки Х18 (ЭИ-229)

Диаметр шарика $d_ш$		Вес 1000 шт. в кГ	Количество шариков в одном кГ	Диаметр шарика $d_ш$		Вес 1000 шт. в кГ	Количество шариков в одном кГ
в дюймах	в мм			в дюймах	в мм		
1/16	1,588	0,016	62 500	—	12	7,10	140
—	2	0,033	30 300	1/2	12,7	8,42	118
—	2,5	0,064	15 600	9/16	14,288	12,0	83
—	3	0,110	9 100	5/8	15,875	16,5	60
1/8	3,175	0,130	7 700	11/16	17,463	21,9	46
5/32	3,969	0,250	4 000	7/8	22,225	45,2	22
—	4	0,263	3 850	1	25,40	67,4	15
3/16	4,763	0,440	2 270	1 1/4	31,75	132	7
—	5	0,514	1 960	1 1/2	38,10	227	4
15/64	5,953	0,860	1 160	2	50,80	539	1,8
1/4	6,350	1,03	970	—	60	883	1
5/16	7,938	2,05	487	3	76,2	1818	—
—	10	4,11	244	4	101,6	4310	—

27. Шарики из кремнемолибденовой стали марки 55 СМА

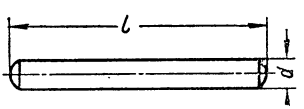
Диаметр шарика $d_ш$		Вес 1000 шт. в *кГ*	Количество шариков в одном *кГ*	Диаметр шарика $d_ш$		Вес 1000 шт. в *кГ*	Количество шариков в одном *кГ*
в дюймах	в *мм*			в дюймах	в *мм*		
5/16	7,938	2,05	487	9/16	14,288	12,0	83
3/8	9,525	3,55	281	5/8	15,875	16,5	35
7/16	11,113	5,64	177	1	25,4	67,4	14
1/2	12,7	8,42	118				

28. Цилиндрические ролики из стали ШХ (по специальным ТУ)



Размеры роликов в *мм*		Вес 1000 шт. в *кГ*	Количество роликов в одном *кГ*	Размеры роликов в *мм*		Вес 1000 шт. в *кГ*	Количество роликов в одном *кГ*
d	*l*			*d*	*l*		
4	6	0,58	1724	8	12	4,65	215
4	8	0,78	1282	8	16	6,3	159
4	12	1,16	862	9	9	4,6	217
4,5	5,5	0,68	1470	9	12	5,9	169
4,5	13	1,60	625	9	14	7,0	143
5	5	0,75	1333	10	10	6,0	167
5	8	1,21	826	10	12	7,2	139
5,0	10	1,50	666	10	25	15	66
5,5	9	1,66	602	11	11	8,2	122
5,5	16	2,95	339	12	12	10,4	96
6	6	1,30	777	14	14	16,6	60
6	8	1,78	562	15	15	20	50
6	8,5	1,86	538	15	25	34,4	29
6	10	2,92	342	18	26	51,6	19
6	12	2,61	383	20	20	49	20
6,5	10	2,55	392	21	21	56,0	18
6,5	11	2,83	353	22	34	100	10
6,5	15	3,90	256	24	24	84,0	12
7	10	2,96	338	26	26	108	9
8	8	3,08	325	30	30	163,0	6

29. Игольчатые ролики из стали ШХ (по ГОСТ 6870-54)



Размеры игл $d \times l$ в *мм*	Вес 1000 шт. в *кГ*	Количество игл в одном *кГ*	Размеры игл $d \times l$ в *мм*	Вес 1000 шт. в *кГ*	Количество игл в одном *кГ*
2×8	0,19	5260	2,5×16	0,61	1640
2×10	0,24	4170	2,5×18	0,69	1450
2×12	0,29	3450	2,5×20	0,76	1316
2×14	0,34	2940	3×16	0,88	1136
2×16	0,39	2560	3×18	0,99	1010
2×20	0,49	2040	3×20	1,10	909
2×24	0,59	1695	3×24	1,32	758
2,5×10	0,37	2700	3,5×30	2,20	455
2,5×12	0,45	2220	4×40	3,90	256
2,5×14	0,52	1920	5×50	7,50	133

Глава III

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Методы выбора подшипников качения сводятся к следующим типовым случаям.

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ ПО СТАТИЧЕСКОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Подшипники качения, работающие в условиях постоянного действия на них определенной статической нагрузки или в условиях медленного вращения, но воспринимающие наибольшую нагрузку при остановках, выбираются по каталожным значениям допускаемых статических нагрузок.

Для подшипников ответственного назначения статическая грузоподъемность определяется:

а) расчетом по формулам на контактную прочность (по Герцу—Диннику—Беляеву);

б) экспериментальными данными по установлению допустимых остаточных деформаций рабочих элементов подшипников под статической нагрузкой;

в) расчетом общего напряженного состояния колец подшипников под действием приложенных нагрузок и посадочных натягов.

Последний метод сложен и дает аналитическое решение лишь для роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами (плоская задача теории упругости).

При определении допускаемой подшипником статической нагрузки Q с достаточной для практики степенью точности можно пользоваться приближенными формулами следующего вида:

для шарикоподшипников

$$Q_{cm} = K z d_ш^2 \cos\beta \kappa\Gamma;$$

для роликоподшипников

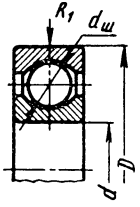
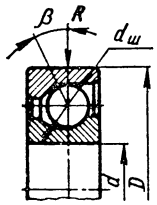
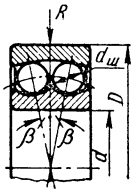
$$Q_{cm} = K' z d_p l_p \cos\beta \cdot \kappa\Gamma.$$

Здесь z — число тел качения в одном ряду; $d_ш$ или d_p — диаметр тела качения в *мм*; β — угол контакта; l_p — длина роликов (без фасок) в *мм*; K и K' — коэффициенты статической стойкости, установленные экспериментально для каждого типа подшипника, исходя из не менее чем четырехкратного запаса прочности против разрушающей нагрузки.

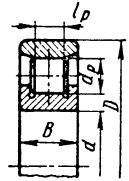
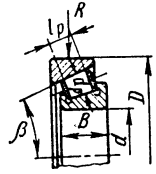
Значения коэффициентов статической стойкости для основных типов радиальных и радиально-упорных подшипников, при действии на них радиальной нагрузки приведены ниже. Значение коэффициента K для упорных шарикоподшипников дано применительно к восприятию ими чисто осевой нагрузки.

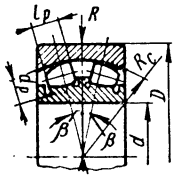
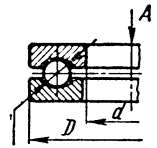
Тип подшипника	Коэффициент статической стойкости K	Коэффициент статической стойкости K'	Угол контакта в град. β
Радиальные однорядные шарикоподшипники	1,25	—	—
Радиальные сферические двухрядные шарикоподшипники	0,68	—	8—16
Радиальные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами	—	2,2	—
Радиальные сферические двухрядные роликоподшипники	—	4,4	8÷20
Радиально-упорные однорядные шарикоподшипники	1,25	—	12, 26 или 36
Магнетные шарикоподшипники	1,25	—	—
Конические роликоподшипники	—	2,2	9—18, иногда 29—30
Упорные шарикоподшипники	5,0	—	—
Упорные роликоподшипники	—	6,0	—

1. Расчетные формулы для определения радиальной силы P и наибольшего контактного напряжения смятия σ_{max} *

Тип подшипника	Эскиз	Расчетные параметры: Радиальная сила P в $кГ$	Максимальное напряжение σ_{max} в $кГ/см^2$ в точке касания тела качения: с внутренним кольцом — Обычная формула	с внутренним кольцом — Приближенная формула	с наружным кольцом — Обычная формула	с наружным кольцом — Приближенная формула	Допустимое значение σ_{max} в $кГ/см^2$ не более
Однорядный радиальный шарикоподшипник		$\frac{5R}{z}$	$5100\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$	$13200\sqrt[3]{\frac{R}{D^2-d^2}}$	$4000\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$	$10700\sqrt[3]{\frac{R}{D^2-d^2}}$	50 000
Однорядный радиально-упорный шарикоподшипник		$\frac{5R}{z\cos\beta}$		$13200\sqrt[3]{\frac{R}{(D^2-d^2)\cos\beta}}$		$10700\sqrt[3]{\frac{R}{(D^2-d^2)\cos\beta}}$	
Радиальный сферический шарикоподшипник		$\frac{5R}{2z\cos\beta}$	$5400\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$	$10800\sqrt[3]{\frac{R}{(D^2-d^2)\cos\beta}}$	$9300\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$	$18500\sqrt[3]{\frac{R}{(D^2-d^2)\cos\beta}}$	50 000

Продолжение табл. 1

Тип подшипника	Эскиз	Расчетные параметры					
		Радиальная сила P в кГ	Максимальное напряжение σ_{max} в кГ/см² в точке касания тела качения				Допустимое значение σ_{max} в кГ/см² не более
			с внутренним кольцом		с наружным кольцом		
			Обычная формула	Приближенная формула	Обычная формула	Приближенная формула	
Радиальный роликоподшипник с короткими цилиндрическими роликами		$\frac{4{,}6R}{z}$	$955\sqrt{\frac{P}{l_p d_p}}$	$2500\sqrt{\frac{R}{(D+d)B}}$	$795\sqrt{\frac{P}{l_p d_p}}$	$2500\sqrt{\frac{R}{(D+d)B}}$	35 000
Конический роликоподшипник		$\frac{4{,}6R}{z\cos\beta}$		$2500\sqrt{\frac{R}{(D+d)B\cos\beta}}$		$2500\sqrt{\frac{R}{(D+d)B\cos\beta}}$	

Тип подшипника	Эскиз	Расчетные параметры: Сила P в $кГ$	Максимальное напряжение σ_{max} в $кГ/см^2$ в точке касания тела качения: с внутренним кольцом — Обычная формула	с внутренним кольцом — Приближенная формула	с наружным кольцом — Обычная формула	с наружным кольцом — Приближенная формула	Допустимое значение σ_{max} в $кГ/см^2$ не более
Радиальный сферический с бочкообразными роликами		$\frac{5R}{2z\cos\beta}$	Обычно не определяют		$2880\sqrt[3]{\frac{P}{d_p^2}}$	$6000\sqrt{\frac{R}{D^2-d^2}}$	35 000
Упорный шарикоподшипник		Осевое давление $\frac{A}{z}$	Для касания шарика с любым кольцом		$5100\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$	$6420\sqrt[3]{\frac{A}{D^2-d^2}}$	35 000

Условные обозначения в таблице: R — радиальная нагрузка на подшипник в $кГ$; A — осевая нагрузка на подшипник в $кГ$; z — число тел качения в одном ряду; $d_ш$ — диаметр шарика в $см$; l_p — рабочая длина ролика в $см$; d_p — диаметр ролика в $см$ (для конических и бочкообразных роликов — в среднем сечении); D — наружный диаметр подшипника в $см$; d — внутренний диаметр подшипника в $см$; B — ширина подшипника в $см$; β — угол контакта тела качения с наружным кольцом.

* По справочнику Р. Д. Бейзельмана и Б. В. Цыпкина, «Подшипники качения».

Для радиальных и радиально-упорных шарикоподшипников, воспринимающих чисто осевую нагрузку, допускаемую величину этой нагрузки $A_{ст}$ *кГ* можно приближенно определить по формуле

$$A_{ст}=K''zd_ш^2,$$

где z и $d_ш$ имеют прежние значения, а K'' представляет собой коэффициент осевой статической стойкости, зависящей от типа и начального угла контакта $\beta_{нач}$ шарикоподшипника:

	K''	$\beta_{нач}$
Для радиальных однорядных шарикоподшипников	1,5	—
Радиально-упорных шарикоподшипников:		
серия 36000	1,6	12
» 46000	2,0	26
» 66000	2,3	36

Согласно исследованиям инж. М. П. Белянчикова (ВНИПП), для радиально-упорных шарикоподшипников справедлива следующая формула определений приведенной статической радиальной нагрузки по заданным R, A и $\beta_{нач}$:

$$Q_{ст.пр}=0{,}5R+0{,}23\,A\operatorname{ctg}\beta_{нач}.$$

Допустимые значения статической нагрузки для различных подшипников качения приведены на стр. 41 ÷ 97.

Усилие, действующее на тело качения (шарик или ролик), расположенное в нагруженной зоне, зависит от угла между радиусом, проходящим через центр тела качения, и направления реакции опоры. Наибольшую нагрузку воспринимает тело качения, расположенное по направлению этой реакции. В табл. 1 приведены формулы для определения силы P, приложенной к наиболее нагруженному телу качения в подшипниках различных типов, и упрощенные формулы для определения наибольших контактных напряжений смятия между наиболее нагруженным шариком или роликом и дорожкой качения внутреннего или наружного кольца.

Во избежание возникновения пластических деформаций рекомендуются допускаемые напряжения несколько ниже наибольших значений, указанных в табл. 1, а именно: $\sigma_{max}\leqslant 40\,000$ *кГ/см²* для шарикоподшипников и $\sigma_{max}\leqslant 30\,000$ *кГ/см²* для роликоподшипников заводского изготовления. При кустарном изготовлении подшипников из сталей пониженной твердости с худшими механическими характеристиками соответственно снижают σ_{max}. Так, например, для колец из термически не обрабатываемой стали Ст. 5 $\sigma_{max}\approx 3500\div 5000$ *кГ/см²*.

Формулы табл. 1 применимы преимущественно для поверочных расчетов готовых подшипников.

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КАЧАНИЯ НА МАЛЫЙ УГОЛ

Физическая природа разрушения подшипников, работающих в условиях качания на угол $\pm\,\alpha$, отличается от разрушения рабочих элементов подшипника, имеющего место в условиях приложения больших статических нагрузок. Кроме того, число повторных контактных нагружений отличается от наблюдаемого при вращении, а нагрузка воспринимается небольшим числом тел качения и только частью рабочей поверхности дорожек качения. При качательном движении наблюдается эффект отгона смазки от зоны контакта, особенно при большой частоте качаний, в результате чего возникают лунки контактно-коррозионного и абразивного происхождения под наиболее нагруженными телами качения, известные под названием «ложного бринеллирования». Теоретическая сторона наблюдаемых при качании явлений исследована [12], однако экспериментальные коэффициенты для данного расчета еще требуют определения, а потому в справочник вошли неполностью.

Число повторных нагружений, испытываемых точкой на желобе внутреннего кольца шарикоподшипника при качании его на угол α за время одного периода,

$$u=\frac{1}{2}z\left(1+\frac{d_ш}{D_0}\right)\frac{\alpha_0}{360^\circ},$$

где $d_ш$ — диаметр шарика; D_0 — диаметр окружности расположения центров шариков; z — число шариков в подшипнике.

Сила, действующая на наиболее нагруженное тело качения радиального подшипника,

$$P_0=K_0\frac{Q}{z},$$

где $K_0=4{,}37\div 5$ в зависимости от радиального зазора в шарикоподшипнике

2. Значения K_α

α	Число шариков, z								
	6	8	9	10	12	15	16	18	20
60°	1	1	1	1	0,9075	0,9310	0,9376	0,9486	0,9571
120° и 180°	1	0,8554	0,8875	0,8924	0,9075	0,8796	0,8860	0,8976	0,9081

(при средних значениях зазоров $K_0=5$; при нулевом зазоре $K_0=4{,}37$).

Если наибольшая нагрузка приходится на нижний шарик, то нагрузка на шарик, расположенный под углом α от вертикали,

$$P = P_0 \cos^{\frac{3}{2}} \varphi.$$

При качании подшипника на угол φ

$$P_0 = K_\varphi \frac{Q}{z},$$

где $K_\varphi=4{,}30 \div 4{,}43$ в зависимости от z и φ.

Для расчета долговечности шарикоподшипников, работающих в условиях качания на угол α, число повторных нагружений за один период можно определить по формуле

$$u = \frac{A}{\sigma^s},$$

где $A=20 \div 40$ — коэффициент, устанавливаемый экспериментальным путем с учетом сорта и характера подачи смазки; $s=9$ или 10; σ — эквивалентное напряжение, равное по величине p_m, которая больше, чем у подшипников, совершающих вращательное движение.

Существенное влияние на долговечность подшипника оказывает среднее значение эквивалентного напряжения, которое при качательном движении подшипника может быть определено по формуле

$$p_m = K \cdot K_\alpha \sqrt[3]{P_0},$$

где $K \approx \frac{5000}{d_ш^{2/3}}$ — постоянный коэффициент;

K_α — коэффициент, зависящий от z и α; для наружных колец $K_\alpha = 1$ независимо от z и α; для внутренних колец K_α определяется по табл. 2;

ВЫБОР РАДИАЛЬНЫХ, РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ и УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ПО РАБОТОСПОСОБНОСТИ И СРОКУ СЛУЖБЫ

Большинство подшипников, работающих в условиях вращения под определенной нагрузкой в пределах каталожных значений допускаемых нагрузок и скоростей, выходит из строя в результате усталостного выкрашивания дорожек качения или тел качения, возникающего после определенного эксплуатационного периода, а потому рассчитывается на долговечность.

Динамическая работоспособность подшипников качения по методике, принятой в СССР, характеризуется так называемым коэффициентом работоспособности C. Связь между величиной C, нагрузкой Q в $кГ$, числом оборотов в минуту n и расчетной долговечностью h в часах выражается приближенной эмпирической формулой

$$C = Q(nh)^{0,3}*.$$

Значения C для подшипников качения приводятся в табл. 1—23, гл. II, а также могут быть вычислены:

для шарикоподшипников

$$C = K_1 z^{0,7} d_ш^2 \psi \cos\beta;$$

для роликоподшипников

$$C = K'_1 z^{0,7} d_ш l \cos\beta.$$

Здесь K_1 и K'_1 — коэффициенты динамической стойкости, зависящие от типа, материала и точности изготовления подшипника; значения коэффициентов приведены в табл. 3; β — угол контакта, принимается по чертежам подшипника; l — длина роликов без фасок в *мм*; $d_ш$ — диаметр шариков; d_p — средний

* Для замены в формулах степенных показателей 0,3 на $^1/_3$ и 0,7 на $^2/_3$, как принято в практике многих стран Европы, с нашей точки зрения нет достаточных оснований.

3. Значения коэффициентов стойкости K и K_t

Тип подшипника	Коэффициент динамической стойкости
Радиальные однорядные шарикоподшипники	65
Радиальные сферические двухрядные шарикоподшипники	60
Радиальные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами	70÷80
Радиальные сферические двухрядные роликоподшипники	135
Радиально-упорные однорядные шарикоподшипники	65
Магнетные шарикоподшипники	65
Конические роликоподшипники	80
Упорные шарикоподшипники	95
Упорные роликоподшипники	100

4. Значения корректирующего коэффициента ψ

d в мм	ψ	d в мм	ψ	d в мм	ψ	d в мм	ψ	d в мм	ψ
1	0,98	11	0,82	21	0,71	31	0,62	41	0,55
2	0,96	12	0,81	22	0,70	32	0,61	42	0,54
3	0,94	13	0,79	23	0,69	33	0,60	43	0,54
4	0,93	14	0,78	24	0,68	34	0,60	44	0,53
5	0,91	15	0,77	25	0,67	35	0,59	45	0,53
6	0,89	16	0,76	26	0,66	36	0,58	46	0,52
7	0,87	17	0,75	27	0,65	37	0,58	47	0,52
8	0,86	18	0,74	28	0,64	38	0,57	48	0,51
9	0,85	19	0,73	29	0,63	39	0,56	49	0,51
10	0,83	20	0,72	30	0,62	40	0,56	50	0,50

диаметр конических роликов, или наибольший диаметр для бочкообразных в *мм*; $\psi = \frac{1}{1+0{,}02d_ш}$ — корректирующий коэффициент, зависящий от размера и технологических особенностей шариков различных диаметров; значения ψ даны в табл. 4; $z^{0,7}$ — определяют по значению z, пользуясь табл. 5.

Приведенная расчетная нагрузка Q должна определяться в зависимости от величин, действующих на подшипник радиальной R и осевой A нагрузок. Величина Q определяется обычно по формуле следующего вида:

$$Q = (RK_к + mA)K_б K_T \ кГ,$$

где $K_б$ — динамический коэффициент безопасности, учитывающий режим работы узла, где установлен подшипник; $K_к$ — кинематический коэффициент, учитывающий увеличение числа повторных давлений при вращении наружного кольца; K_T — температурный коэффициент; m — коэффициент приведения осевой нагрузки к эквивалентной (в смысле влияния ее на долговечность) радиальной нагрузке.

Значения коэффициентов $K_к$, $K_б$, K_T и m приведены в табл. 6—9.

5. Значения $z^{0,7}$

z	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$z^{0,7}$	2,64	3,08	3,50	3,90	4,29	4,65	5,01	5,36	5,69	6,02	6,34	6,66	6,96	7,27	7,56	7,85
z	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
$z^{0,7}$	8,14	8,42	8,70	8,98	9,25	9,52	9,80	10,1	10,3	10,6	10,8	11,1	11,3	11,6	11,8	12,0
z	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
$z^{0,7}$	12,3	12,5	12,7	13,0	13,2	13,5	13,7	13,9	14,1	14,4	14,6	14,8	15,0	15,3	15,5	

6. Значения кинематического коэффициента $K_к$

Какое кольцо вращается	$k_к$	Какое кольцо вращается	$k_к$
Для сферического шарико- или роликоподшипника:		Для всех других типов подшипников:	
внутреннее	1	при вращении внутреннего кольца	1
наружное	1,1	при вращении наружного кольца	1,35
Для упорных шарико- и роликоподшипников	1		

7. Значения динамического коэффициента $k_б$

Характер нагрузки	$k_б$	Примеры и применения
Спокойная нагрузка (без толчков)	1	Легкие трансмиссии и контрприводы. Ленточные транспортеры, работающие под крышей при непылящем грузе. Мелкие водяные и масляные насосы. Блоки грузоподъемных машин
Легкие толчки. Кратковременные перегрузки до 125% от расчетной нагрузки	1—1,2	Металлорежущие станки (токарные, сверлильные и фрезерные). Элеваторы. Машины для обработки хлопка, льна и шерсти. Рольганги мелкосортных прокатных станов. Внутрицеховые конвейеры. Редукторы со шлифованными зубьями, работающие в масляной ванне. Электродвигатели и вентиляторы (при точной балансировке их роторов). Ручные подъемные механизмы, краны электрические, работающие при легком режиме. Буксы вагонеток. Гиромоторы. Пневмотурбинки. Электрошпиндели
Умеренные толчки и вибрации. Кратковременные перегрузки до 150% от расчетной нагрузки	1,3—1,5	Редукторы с фрезерованными зубьями повышенной точности. Железнодорожные и трамвайные буксы при челюстных тележках. Краны электрические для среднего режима. Электродвигатели с небалансированными роторами. Валки мелкосортных прокатных станов. Крановые крюки. Автомобильные трансмиссии. Карданы
	1,5—1,8	Буксы бесчелюстных тележек вагонов, электровозов и тепловозов. Шлифовальные станки с ручной подачей. Строгальные и долбежные станки. Центрифуги и сепараторы. Зубчатые приводы грубого изготовления. Грохоты. Трепальные машины. Винтовые конвейеры. Краны электрические, работающие при тяжелом и весьма тяжелом режиме
Значительные толчки и вибрации. Кратковременные перегрузки до 200% от расчетной нагрузки	1,9—2,5	Валки среднесортных прокатных станов. Дробилки для руды и камней. Кирпичные пресса. Ковочные машины. Копры. Горячие рольганги. Галтовочные барабаны
Нагрузка с сильными ударами и перегрузками кратковременными и длительными, достигающими 300% от расчетной нагрузки	2,5—3,0	Тяжелые ковочные машины. Валки крупносортных прокатных станов, блюмингов и слябингов. Рольганги ножниц и манипуляторов. Дышла лесопильных рам. Подшипники в оборудовании, работающем под водой

8. Значения коэффициента приведения m

Наименование подшипников	Обозначение серий подшипников	Внутренний диаметр подшипника в *мм*	m
Шарикоподшипники однорядные	200, 300, 400		1,5
Шарикоподшипники сферические легкой серии	1000, 1200	17	2,5
		20—40	3,5
		45 и выше	4,5
То же, на закрепительных втулках	11 200	35	3,5
		40 и выше	4,5
Шарикоподшипники сферические средней серии	1300	30	3,0
		35 и выше	4,0
То же, на закрепительных втулках	11 300	25	3,0
		30 и выше	4,0
Шарикоподшипники сферические легкой широкой серии	1 500	Для всех диаметров	2,5
То же, на закрепительных втулках	11 500	То же	2,5
Шарикоподшипники сферические средней широкой серии	1 600	»	2,0
То же, на закрепительных втулках	1 600	»	2,0
Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами	Все серии	»	0

Продолжение табл. 8

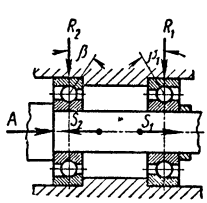
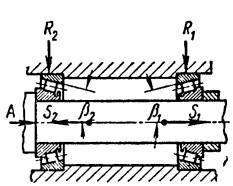
Наименование подшипников	Обозначение серий подшипников	Внутренний диаметр подшипника в *мм*	m
Роликоподшипники сферические двухрядные легкой широкой серии	3 500	Для всех диаметров	3,0
То же, на закрепительных втулках	13 500	То же	3,0
Роликоподшипники сферические двухрядные средней широкой серии	3 600	»	2,0
То же, на закрепительных втулках	13 600	»	2,0
Шарикоподшипники радиально-упорные однорядные $\left(\frac{A}{R}\right)_{опт} = 0{,}35 \div 0{,}5$	26 000	»	1,25
То же, $\left(\frac{A}{R}\right)_{опт} = 0{,}5 \div 1{,}2$	36 000 и 46 000	»	0,56
Шарикоподшипники магнетные $\left(\frac{A}{R}\right)_{опт} = 0{,}35$	6 000	»	2,0
Роликоподшипники конические:			
а) легкой и легкой широкой серии $\left(\frac{A}{R}\right)_{опт} = 0{,}35 \div 0{,}5$	7 200 7 500		1,2
б) средней и средней широкой серии $\left(\frac{A}{R}\right)_{опт} = 0{,}25 \div 0{,}5$	7 300 7 600		1,3
Роликоподшипники конические с большим углом конуса $\left(\frac{A}{R}\right)_{опт} = 0{,}8 \div 1{,}2$	27 300	»	0,56

9. Значения температурного коэффициента K_T

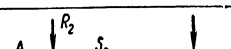
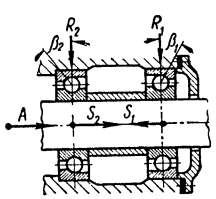
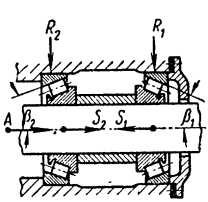
Рабочая температура подшипника в °С	До 100	125	150	175	200	225	250
K_T	1	1,05	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4

Формулы для определения условных радиальных нагрузок радиально-упорных, шариковых и конических роликовых подшипников в зависимости от схемы их установки в узле приведены в табл. 10.

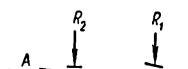
10. Формулы условных радиальных нагрузок для радиально-упорных подшипников

Схема расположения подшипников и действующих усилий	Вариант	Соотношение усилий			Расчетная формула
	1	$R_1 = 0$	$A \geqslant 0$	$A < S_2$	$Q_1 = m\,(S_2 - A)\,K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_k K_\delta K_T$
	2	$R_2 \neq 0$	$A > 0$	$A \geqslant S_2$	$Q_1 = 0$ $Q = [R_2 K_k + m\,(A - S_2)] \times$ $\times\, K_\delta\, K_T$
	3	$R_1 \neq 0$ $R_2 = 0$	$A \geqslant 0$	При любом соотношении A и S_1	$Q_1 = R_1 K_k K_\delta K_T$ $Q_2 = m(A + S_1)\;K_\delta K_T$
	4	$R_1 = R_2$	$A \geqslant 0$	—	$Q_1 = R_1 K_k\, K_\delta K_T$ $Q_2 = (R_2 K_k + mA)\;K_\delta K_T$

Продолжение табл. 10

Схема расположения подшипников и действующих усилий	Вариант	Соотношение усилий			Расчетная формула
См. схемы 1—4 вариантов	5	$R_1 > R_2$	$A \geqslant 0$	При любом соотношении A и $(S_1 - S_2)$	$Q_1 = R_1 K_k K_\delta K_T$ $Q_2 = \{R_2 K_k + m[A + (S_1 - S_2)]\} K_\delta K_T$
	6	$R_1 < R_2$	$A > 0$	$A = (S_2 - S_1)$	$Q_1 = \{R_1 K_k + m[(S_2 - S_1) - A]\} K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_k K_\delta K_T$
	7		$A > 0$	$A > (S_2 - S_1)$	$Q_1 = R_1 K_k K_\delta K_T$ $Q_2 = \{R_2 K_k + m[A - (S_2 - S_1)]\} K_\delta K_T$
 *Подшипник радиальный плавающий* (схема не рекомендуется)	8	Любое соотношение R_2 и R_1	$A > 0$	$A = S_2$	$Q_1 = R_1 K_k K_\delta K_T$ $Q_2 = [R_2 K_k + m(A - S_2)] \times K_\delta K_T$
	9	$R_1 = 0$ $R_2 \neq 0$	$A \geqslant 0$	При любом соотношении A и S_2	$Q_1 = m(A + S_2) K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_k K_\delta K_T$
	10	$R_1 \neq 0$	$A \geqslant 0$	$A < S_1$	$Q_1 = R_1 K_k K_\delta K_T$ $Q_2 = m(S_1 - A) K_\delta K_T$
	11	$R_2 = 0$	$A > 0$	$A \geqslant S_1$	$Q_1 = [R_1 K_k + m(A - S_1)] K_\delta K_T$ $Q_2 = 0$
	12	$R_1 = R_2$	$A \geqslant 0$	—	$Q_1 = (R_1 K_k + mA) K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_k K_\delta K_T$

Продолжение табл. 10

Схема расположения подшипников и действующих усилий	Вариант	Соотношение усилий			Расчетная формула
См. эскиз вариантов 9—12	13	$R_1 > R_2$	$A \geqslant 0$	$A < (S_1 - S_2)$	$Q_1 = R_1 K_k K_\delta K_T$ $Q_2 = \{R_2 K_k + m \times$ $\times [(S_1 - S_2) - A]\} K_\delta K_T$
	14		$A > 0$	$A > (S_1 - S_2)$	$Q_1 = \{R_1 K_k +$ $+ m [A - (S_1 - S_2)]\} K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_K K_\delta K_T$
	15	$R_1 < R_2$	$A \geqslant 0$	При любом соотношении A и $(S_2 - S_1)$	$Q_1 = \{R_{Kk} + m [A +$ $+ (S_2 - S_1)]\} K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_k K_\delta K_T$
 *Подшипник радиальный плавающий* (схема не рекомендуется)	16	Любое соотношение R_1 и R_2	$A > 0$	$A > S_1$	$Q_1 = [R_1 K_k + m \times$ $\times (A - S_1)] K_\delta K_T$ $Q_2 = R_2 K_k K_\delta K_T$

В отечественных каталогах, наряду с другими данными, приводятся также коэффициенты работоспособности C, т. е. условная грузоподъемность при скорости 1 об/мин и долговечности 1 час, статическая грузоподъемность, а также предельное число оборотов для каждого типоразмера подшипника. Кроме того, нередко дается таблица приведенных (условных) нагрузок для ряда типовых чисел оборотов (обычно от 100 до 5000 об/мин), подсчитанная при долговечности h=5000 час. (реже 500 час.).

В этом случае определяют приведенную нагрузку Q в $кГ$ обычным способом (см. стр. 118). Зная требуемые для данного узла габариты подшипника (прежде всего диаметр отверстия d), намечают тип и подбирают по таблице подходящий номер подшипника, каталожная нагрузка которого при заданном числе оборотов близка к расчетному значению Q или несколько превышает ее. Если не удается выбрать подшипник легкой серии, отвечающий поставленным требованиям, подбирают его из средней серии и т. д. Если нельзя выбрать подшипник данного типа, то повторяют тот же подбор для подшипников другого типа, например, вместо шарикового выбирают роликовый подшипник таких же размеров.

Если каталожное значение долговечности h=5000 час. не соответствует условиям работы подшипникового узла, то табличное значение Q_T приведенной нагрузки надо умножить на коэффициент долговечности $K_д$, определяемый по заданной (желаемой) расчетной долговечности из табл. 11.

$$Q = Q_T K_д.$$

Расчеты, связанные с выбором подшипника по коэффициенту работоспособности C, а также с определением срока службы подшипника h при поверочном расчете, существенно упрощаются при использовании табл. 13.

Дальнейший порядок выбора остается прежним.

11. Значения коэффициента долговечности $k_д$

Желаемая долговечность в часах	500	750	1000	1500	2000	3000
$K_д$	0,50	0,56	0,62	0,70	0,78	0,83
Желаемая долговечность в часах	5000	7500	10 000	15 000	25 000	50 000
$K_д$	1,00	1,12	1,24	1,40	1,65	2,00

12. Числовые значения $Q^{3,33}$ и $\sqrt[3,33]{Q}$*

Q	$Q^{3,33}$ в тыс.	$\sqrt[3,33]{Q}$	Q	$Q^{3,33}$ в тыс.	$\sqrt[3,33]{Q}$
1	0,001	1	41	238	3,05
2	0,01	1,23	42	258	3,07
3	0,039	1,39	43	278	3,09
4	0,1	1,51	44	301	3,11
5	0,214	1,62	45	324	3,13
6	0,392	1,71	46	349	3,16
7	0,656	1,80	47	375	3,18
8	1	1,87	48	402	3,20
9	1,52	1,93	49	431	3,22
10	2,16	2,00	50	461	3,24
11	2,96	2,05	51	492	3,26
12	3,96	2,11	52	525	3,28
13	5,17	2,16	53	559	3,29
14	6,61	2,20	54	595	3,31
15	8,32	2,26	55	633	3,33
16	10	2,30	56	672	3,34
17	12,7	2,34	57	713	3,36
18	15,3	2,38	58	755	3,38
19	18,3	2,41	59	800	3,40
20	21,7	2,46	60	846	3,42
			61	894	3,43
21	25,6	2,50	62	943	3,44
22	29,8	2,53			
23	34,6	2,56	63	1000	3,46
24	40,5	2,60	64	1050	3,48
25	45,7	2,63	65	1110	3,50
26	52,1	2,66	66	1160	3,51
27	59,1	2,69	67	1220	3,52
28	66,7	2,72	68	1230	3,54
29	75	2,75	69	1350	3,56
30	83,9	2,78	70	1410	3,58
			71	1480	3,59
31	93,6	2,80	72	1550	3,60
32	104	2,83			
33	115	2,86	73	1630	3,62
34	127	2,88	74	1700	3,64
35	140	2,90	75	1780	3,66
36	154	2,93	76	1860	3,67
37	169	2,95	77	1940	3,68
38	185	2,98	78	2040	3,69
39	201	3,00	79	2120	3,70
40	219	3,03	80	2200	3,72

Продолжение табл. 12

Q	$Q^{3,33}$ в тыс.	$\sqrt[3,33]{Q}$	Q	$Q^{3,33}$ в тыс.	$\sqrt[3,33]{Q}$
81	2300	3,73	93	3650	3,89
82	2400	3,74	94	3780	3,90
			95	3910	3,92
83	2500	3,76	96	4050	3,93
84	2600	3,78	97	4200	3,94
85	2700	3,80	98	4340	3,96
86	2800	3,81	99	4490	3,98
87	2920	3,82	10^2	4640	4,00
88	3020	3,83	10^3	—	8,00
89	3150	3,84	10^4	—	16,00
90	3270	3,86			
91	3390	3,87	10^5	—	32,00
92	3520	3,88	10^6	—	64,00

* Из справочника Р. Д. Бейзельмана и Б. В. Цыпкина «Подшипники качения»

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ И ПЕРЕМЕННОМ ЧИСЛЕ ОБОРОТОВ

Для подшипниковых узлов, где в процессе работы нагрузки и числа оборотов изменяются по времени (опоры валов коробок передач, эскалаторов, канатных барабанов и т. п.), выбор подшипников производится по эквивалентной нагрузке $Q_э$ и эквивалентному числу оборотов $n_э$ в минуту.

Допустим, что подшипник работает при чередующихся по времени нагрузках Q_1, Q_2, Q_3 ... Q_i, которым соответствуют числа оборотов n_1, n_2, n_3, ... n_i.

Продолжительность работы подшипника при каждом режиме в долях от общего срока службы подшипника, принятого за единицу, составляет α_1, α_2, $\alpha_3 \ldots \alpha_i$. Принимая за $n_э$ число оборотов, определяемое по формуле

$$n_э = \beta_1 n_1 + \beta_2 n_2 + \ldots + \beta_i n_i,$$

находят вспомогательные коэффициенты

$$\beta_1 = \frac{n_1}{n_э}; \qquad \beta_2 = \frac{n_2}{n_э};$$

$$\beta_3 = \frac{n_3}{n_э}; \ldots; \qquad \beta_i = \frac{n_i}{n_э}.$$

Тогда эквивалентная приведенная нагрузка, по которой производится выбор подшипника,

$$Q_э = \sqrt[3,33]{\alpha_1\beta_1 Q_1^{3,33} + \alpha_2\beta_2 Q_2^{3,33} + \alpha_3\beta_3 Q_3^{3,33} + \ldots + \alpha_i\beta_i Q_i^{3,33}}.$$

13. Значения $(nh)^{0,3} = \frac{C}{Q}$

h час \ n об/мин	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500
100	8,0	9,2	9,8	10,5	11,2	12,0	13,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7
125	8,5	9,8	10,5	11,2	12,0	13,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5
160	9,2	10,5	11,2	12,0	13,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5
200	9,8	11,2	12,0	13,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0
250	10,5	12,0	13,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0
320	11,2	13,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3
400	12,0	13,8	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0
500	13,0	14,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7
630	13,8	16,0	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7
800	14,8	17,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0
1 000	16,0	18,2	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3
1 250	17,0	19,5	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0
1 600	18,2	21,0	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0
2 000	19,5	22,4	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0
2 500	21,0	24,0	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6
3 200	22,4	25,7	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5
4 000	24,0	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7
5 000	25,7	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2
6 300	27,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0
8 000	29,5	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5
10 000	32,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102
12 500	34,0	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110
16 000	36,3	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117
20 000	39,0	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126
25 000	41,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135
32 000	44,7	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,0	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145
40 000	48,0	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155
50 000	51,3	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166
63 000	55,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178
80 000	59,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191

Продолжение табл. 13

h час	n об/мин																
	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000	25000
100	27,5	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2
125	29,5	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0
160	32,0	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5
200	34,0	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102
250	36,3	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110
320	39,0	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117
400	41,7	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126
500	44,7	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135
630	48,0	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145
800	51,3	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155
1 000	55,0	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166
1 250	59,0	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178
1 600	63,0	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191
2 000	67,6	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204
2 500	72,5	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219
3 200	77,7	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235
4 000	83,2	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251
5 000	89,0	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269
6 300	95,5	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289
8 000	102	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309
10 000	110	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331
12 500	117	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355
16 000	126	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380
20 000	135	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407
25 000	145	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407	437
32 000	155	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407	437	469
40 000	166	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407	437	469	502
50 000	178	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407	437	469	502	538
63 000	191	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407	437	469	502	538	577
80 000	204	219	235	251	269	289	309	331	355	380	407	437	469	502	538	577	617

Примечание. Величины, приведенные в этой таблице, подсчитаны при принятом значении $10^{0,3} = 2$.

Для упрощения расчета можно пользоваться также табл. 12 или формулой

$$Q_э = \sqrt[3]{\alpha_1\beta_1 Q_1^3 + \alpha_2\beta_2 Q_2^3 + \alpha_3\beta_3 Q_3^3 + \ldots + \alpha_i\beta_i Q_i^3}.$$

Если нагрузка изменяется линейно от Q_{min} до Q_{max} и обратно при постоянном числе оборотов, то $Q_э$ можно определять приближенно по формуле

$$Q_э = \frac{Q_{min} + 2Q_{max}}{3}.$$

Если в величины Q_{min} и Q_{max} уже включены осевые составляющие действующих на опору усилий, то условная нагрузка, по которой производят выбор подшипника, как в данном, так и в предыдущих случаях равна

$$Q = Q_э K_б K_т.$$

При поверочном расчете подшипника, работающего с переменными нагрузкой и скоростью, можно использовать табл. 13 значений $(n\,h)^{0,3}$ в функции n и h.

Для этого определяют в каждом из режимов частную долговечность, например,

$$(n_э h_i)^{0,3} = \frac{C}{Q_i K_б K_т},$$

откуда по табл. 10 находят h_i. Аналогично определяют h_1, h_2, h_3 ... и находят общую расчетную долговечность подшипника h из формулы

$$\frac{1}{h} = \frac{\alpha_1}{h_1} + \frac{\alpha_2}{h_2} + \frac{\alpha_3}{h_3} + \ldots + \frac{\alpha_i}{h_i}.$$

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАТЯГОМ

Сущность предварительного натяга заключается в том, что комплект из двух или более радиально-упорных шарико- или роликоподшипников повышенной или высокой точности получает после монтажа в узел предварительную осевую нагрузку, уничтожающую осевую игру подшипников и создающую некоторую начальную упругую деформацию поверхностей качения, обусловливающую повышение жесткости вращения вала.

Последнее особенно важно для опор шпинделей станков, где под действием усилия резания поперечное, угловое или осевое смещения должны лежать в минимальных пределах, регламентируемых техническими условиями. При работе узла под комбинированной нагрузкой минимальная величина усилия предварительного натяга вычисляется по формуле

$$A_{0min} = 1{,}7\,R\,\mathrm{tg}\,\beta + A,$$

где R — действующая на подшипник радиальная нагрузка в $кГ$; A — действующая осевая нагрузка в $кГ$; β — начальный угол контакта.

Если осевая нагрузка A действует в том же направлении, как и усилие предварительного натяга A_0, то второе слагаемое не учитывается.

Пружины или другие устройства для создания предварительного натяга выбираются по нагрузке, рассчитанной по приведенной формуле со знаком плюс.

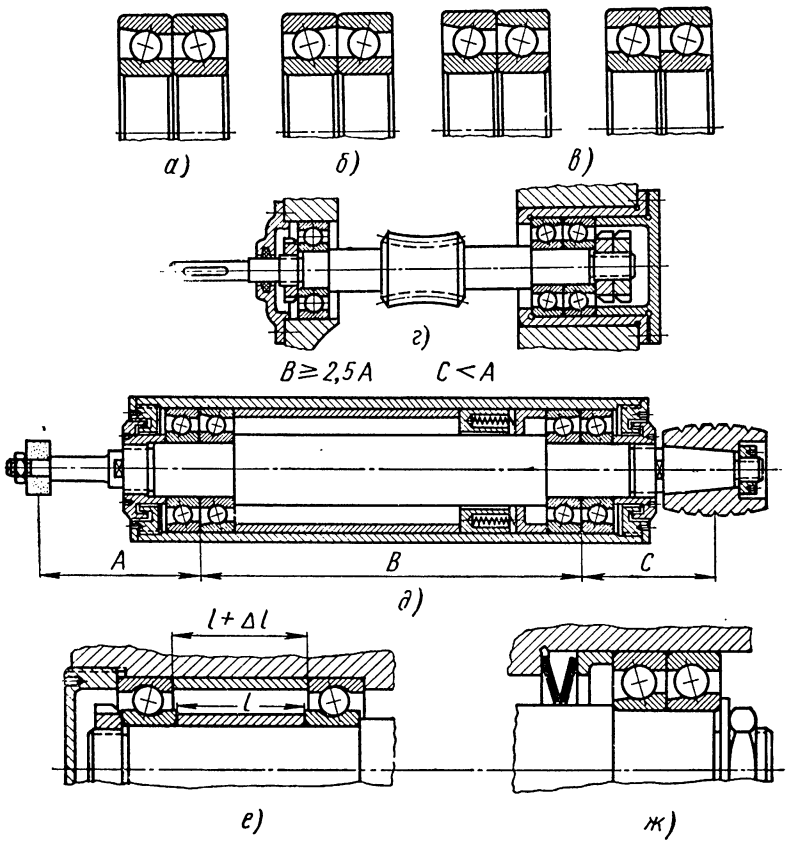
Обычно с предварительным натягом устанавливают радиально-упорные шарикоподшипники типов 36000 и 46000, упорно-радиальные типа 66000, радиальные однорядные и упорные шарикоподшипники, а также конические роликоподшипники. Кроме того, с радиальным предварительным натягом иногда устанавливают роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами, в особенности двухрядные, на шпинделях токарных и других станков. В последнем случае подшипник насаживается на коническую цапфу шпинделя или конусную втулку, причем осевое смещение его гайкой позволяет, за счет расширения внутреннего кольца, устранить радиальный зазор в подшипнике и создать необходимый радиальный предварительный натяг.

В случае создания предварительного натяга за счет втулок или прокладок, устанавливаемых между внутренними и наружными кольцами двух спаренных подшипников, разность длин этих втулок или разность толщин прокладок может быть вычислена по формуле

$$\Delta l = \sqrt{10^{-6}\sqrt[3]{\frac{P_0^4}{d_ш^2}} + 3\cdot 10^{-5}\cdot\sqrt[3]{R_0^2 d_ш^2} + 10^{-2} d_ш e}.$$

Здесь $P_0 = \frac{A_{0min}}{z\sin\beta}$ — нагрузка на каждый шарик от действия предварительного натяга; e — начальный радиальный зазор в подшипнике в $мм$; $d_ш$ — диаметр шариков в $мм$; z — число шариков в подшипнике.

Точность изготовления распорных втулок и прокладок должна быть в пределах 0,05÷0,02 *мм*, а непараллельность их торцов и неперпендикулярность их оси — в пределах 0,003÷0,01 *мм* в зависимости от требуемой точности узла и габаритов подшипников.



Фиг. 1. Типовые варианты сдваивания и предварительный натяг радиально-упорных и радиальных однорядных подшипников.

Приведенная нагрузка, по которой подшипники рассчитываются на долговечность,

$$Q_{пр} = [RK_k + m(A_{0\ \min} \pm 5AH)]K_б K_T.$$

Конструкции пружин для создания предварительного натяга могут быть различными. Основные типы их следующие:

а) цилиндрическая пружина сжатия с поджатыми крайними витками и прошлифованными торцами;

б) комплект мелких цилиндрических пружин сжатия в барабанном патроне с шайбой, на которую давят торцы пружин;

в) две или четыре штампованные тарельчатые пружины с прошлифованными торцами;

г) цилиндрическая или спиральная пружина с торцовой шайбой с одной стороны и регулировочной гайкой с другой, работающая на скручивание;

д) пружина сжатия в виде цилиндрической втулки с глубокими поперечными пропилами, чередующимися со смещением на 90° при числе пропилов 4 или 8;

е) резиновая втулка (неметаллическая пружина сжатия);

ж) кольцевая коническая пружина сжатия (не менее чем из четырех колец).

з) плоская кольцевая пружина, выгибающаяся, как диафрагма.

Наибольшее применение имеют типы б, в и з. Тип а используется для мелких подшипников. Он требует тщательной выверки непараллельности торцов пружины (в пределах 0,02 *мм*) и регулировочной гайки в виде резьбового стакана с мелкой прецизионной резьбой.

Подшипники могут иметь предварительный натяг также за счет подшлифовки торцов непосредственно на подшипниковом заводе, что обеспечивает внутренний предварительный натяг парного комплекта, постепенно снижающийся по мере абразивного истирания рабочих поверхностей. Подшлифовка торцов обеспечивает более равномерное распределение радиальной нагрузки между двумя (а иногда даже и тремя или четырьмя) спаренными подшипниками и приблизительное равенство их начальных углов контакта β_0.

На фиг. 1 представлены следующие типовые варианты установки спаренных подшипников и конструкции некоторых устройств для обеспечения предварительного натяга: жесткий комплект двухстороннего осевого действия из двух радиально-упорных шарикоподшипников, наружные кольца которых соприкасаются широкими бортами (фиг. 1, *а*); комплект двухстороннего действия сдвоенных радиально-упорных шарикоподшипников, наружные кольца которых соприкасаются узкими бортами (фиг. 1, *б*); комплект одностороннего осевого действия «тандем», когда широкий борт наружного или внутреннего кольца соприкасается с узким для восприятия значительных осевых нагрузок (фиг. 1, *в*); комплект сдвоенных радиально-упорных подшипников для восприятия комбинированных нагрузок (радиальных и осевых, переменного направления) на валу глобоидального червяка редуктора небольшой мощности (фиг. 1, *г*); пример применения двух комплектов, сдвоенных по принципу «тандем», радиально-упорных подшипников на шпинделе внутришлифовального станка с ременным приводом, где предварительный натяг осуществлен комплектом небольших цилиндрических пружин сжатия (фиг. 1, *д*). Эта конструкция используется в шпинделях не столько вследствие наличия больших осевых усилий, сколько для обеспечения максимальной жесткости шпинделя, для чего длина консолей максимально возможно сокращается; пример осуществления предварительного натяга двух сдвоенных однорядных радиальных шарикоподшипников за счет распорных втулок, отличающихся друг от друга по длине на величину Δl, вычисленную по приведенной выше формуле, показан на фиг. 1, *е*; пример использования двух тарельчатых пружин для осуществления предварительного натяга сдвоенных радиально-упорных шарикоподшипников показан на фиг. 1, *ж* применительно к схеме, показанной на фиг. 1, *д*.

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ КАТАЛОЖНЫХ СКОРОСТЕЙ

Для работы при числах оборотов в минуту, превышающих предельные значения по каталогам, в качестве высокоскоростных подшипников применимы однорядные радиальные или радиально-упорные шарикоподшипники, а также роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами, прецизионного изготовления (классов С, СА, А, АВ, В) с хорошо сбалансированными прочными, но по возможности легкими массивными сепараторами, базирующимися на полированных бортах внутреннего или лучше наружного кольца.

Основными факторами, лимитирующими повышение скорости вращения подшипников качения, являются:

а) тепловыделение и отпуск поверхностей качения в результате повышенной работы трения, устраняемое струйной форсуночной смазкой, масляным туманом, водяным или масляным охлаждением вала и корпуса (последнее чаще),

б) механическое разрушение или ускоренный износ сепараторов (их гнезд и направляющих бортов) под действием нагрузок от центробежных сил и повышенного трения;

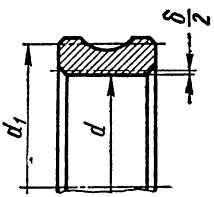
в) потеря посадки внутренних колец на валу под действием на них центробежных сил, вызывающих растяжение колец;

г) заедание подшипников на ходу в результате накопления продуктов износа, наволакивания металла сепаратора на кольца и тела качения, осмоления и теплового перерождения смазки;

д) ускоренное усталостное выкрашивание рабочих поверхностей колец и тел качения при повышенных нагрузках за

счет увеличения числа циклов нагружения при высоких скоростях вращения.

Как правило, при высоких скоростях нагрузки подшипников весьма невелики, кроме авиамоторных узлов, если не учитывать инерционных сил от несбалансированных масс.



Фиг. 2. Параметры расчета предельно-допустимого числа оборотов подшипника.

В интересах сохранения необходимых радиальных зазоров и для облегчения перемонтажа конструкторы применяют в высокоскоростных узлах преимущественно легкие посадки с диаметральным натягом от 2 до 20 *мк*. Поэтому нередко наблюдается проворачивание внутренних колец на шейках валов, ограничиваемое предельно-допустимыми числами оборотов подшипника при данном натяге,

$$n_{пр} = \frac{60}{\pi d_1}\sqrt{\frac{4E\delta 10^{-4}}{\frac{\gamma}{g}(3+m)d}}.$$

Здесь $n_{пр}$ — предельное число оборотов в минуту подшипника, выше которого уничтожится минимальный посадочный натяг за счет расширения внутреннего кольца под действием центробежных сил; $E = 2{,}1 \cdot 10^6$ — модуль упругости материалов вала и внутреннего кольца; если эти материалы имеют различные модули упругости, то в формулу нужно подставлять приведенный модуль упругости в *кГ/см*^{2}

$$E_{пр} = \frac{2E_1E_2}{E_1+E_2};$$

$m = 0{,}3$ — коэффициент Пуассона; $g = 981$ — ускорение силы тяжести в *см/сек*^{2}; $\gamma = 7{,}8 \cdot 10^{-3}$ — удельный вес для материалов вала и внутреннего кольца подшипника в *кГ/см*^{3}; d — диаметр вала или отверстия подшипника в *см*; d_1 — средний наружный диаметр внутреннего кольца с учетом формы последнего в *см* (фиг. 2); $\delta = 2 \div 20$ *мк* — диаметральный посадочный натяг внутреннего кольца подшипника.

Подставляя приведенные значения величин, входящих в формулу, получим

$$n_{пр} = \frac{340\,000}{d_1}\sqrt{\frac{\delta}{d}}$$

Поскольку определенный натяг должен сохраняться во время работы, необходимо, чтобы $n_{раб} = (0{,}5 \div 0{,}8)n_{пр}$. Учитывая воздействие центробежных сил на внутреннее кольцо, сепаратор, тела качения и наружное кольцо, иногда считают целесообразным ограничивать предельную быстроходность подшипника в зависимости от наружного диаметра, т. е. регламентировать не $[dn]_{max}$, как это практиковалось ранее, а $[Dn]_{max}$.

Основываясь на опыте ряда европейских заводов для проверки предельных чисел оборотов в минуту подшипников массового и серийного производства со стальным штампованным сепаратором, при обычных эксплуатационных условиях, можно пользоваться формулами, приведенными в табл. 14.

14. Предельные числа оборотов для нормальных типов подшипников качения

Тип подшипника	Предел применимости формулы	n_{max} об/мин
Мелкие однорядные и двухрядные радиальные, магнетные, однорядные радиально-упорные и сферические шарикоподшипники	При $D < 30$ *мм*	$\frac{900\,000}{D+10}$
Однорядные и двухрядные радиальные, магнетные, однорядные радиально-упорные и сферические шарикоподшипники; роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами	При $D > 30$ *мм*	$\frac{450\,000}{D-10}$

Продолжение табл. 14

Тип подшипника	Предел применимости формулы	n_{max} об/мин
Двухрядные радиально-упорные шарикоподшипники, конические роликоподшипники и двухрядные сферические роликоподшипники легкой серии	Без ограничения диаметров	$\frac{320\,000}{D-10}$
Двухрядные сферические роликоподшипники средней серии и однорядные сферические роликоподшипники	То же	$\frac{230\,000}{D-10}$
Игольчатые роликоподшипники без сепараторов	»	$\frac{120\,000}{D-10}$
Упорные шарикоподшипники	»	$\frac{140\,000}{D-10}$

Обозначения: D — наружный диаметр подшипника в *мм*.
Примечание. Расчетная долговечность подшипника должна быть не менее 5000 час.

Указанные в таблице значения n_{max} могут быть повышены до 50% для подшипников с вращающимся внутренним кольцом при использовании массивного сепаратора, направляемого полированными бортами наружных колец, и сокращении радиальных биений до $^1/_3$ величины, установленной для подшипников нормального класса точности.

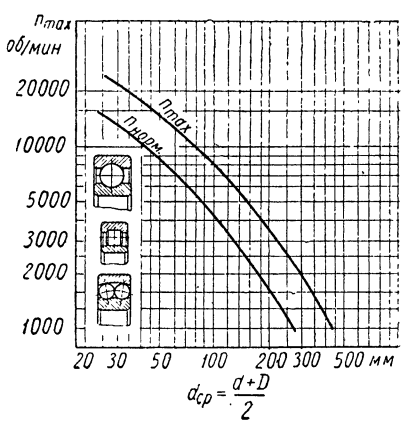
Для шарико- и роликоподшипников классов С и А при условии искусственного охлаждения и качественной смазки (масляным туманом, струйной форсуночной), а также при соответствующем подборе материала и конструкции сепаратора возможно удвоение предельных чисел оборотов против значений, указанных в табл. 14. При этом следует опасаться избытка смазки в корпусе, вызывающего повышение рабочей температуры подшипника. Роликоподшипники должны быть снабжены выпуклостью (бомбиной) на кольце или незначительной (в пределах 10 *мк*) конусностью обоих концов роликов для устранения концентрации напряжений на кромках.

В ряде случаев еще практикуется оценка предельных чисел оборотов различных типов подшипников по параметру $[dn]_{max}$. Недостаток этого метода заключается в необходимости определения допускаемых значений dn для подшипников каждой серии и для каждого типа сепаратора.

В Чехословакии для радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников критерий предельной быстроходности определяется по выражениям

$$[0{,}5(d+D)]n_{max} \text{ или } [d_{cp}n]_{max}.$$

На фиг. 3—5 представлены диаграммы для выбора подшипников по этой методике.

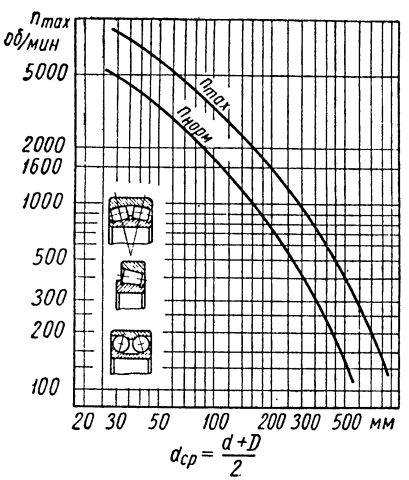


Фиг. 3. Предельные числа оборотов в минуту однорядных радиальных и двухрядных сферических шарико- и роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами (по данным Josef Motzka и Jan Fröhlich, ЧССР).

Для однорядных радиальных шарикоподшипников, роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами и сферических шарикоподшипников в Чехословакии используют соотношение

$$[d_{cp}n]_{max} = 700\,000 \div 900\,000 \text{ мм об/мин}.$$

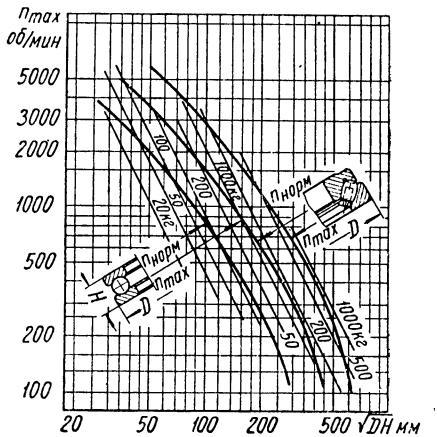
Наибольшее значение параметра $[d_{cp}n]_{max} = 2\,000\,000$ достигнуто в ЧССР для радиально-упорных шарикоподшипников и роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами при надлежащей точности их изготовления, конструкции и материале сепараторов, а также при наличии искусственного охлаждения.



Фиг. 4. Предельные числа оборотов в минуту двухрядных радиально-упорных шарикоподшипников, конических и двухрядных сферических роликоподшипников (по данным Iosef Motzka и Jan Fröhlich, ЧССР).

В СССР до последнего времени оценка предельной быстроходности подшипников проводилась по параметру $[dn]_{max}$, причем для каждой серии и каждой конструкции сепаратора указывались свои допустимые величины. Экспериментально найденные для каждого номера подшипника значения n_{max} указаны в каталогах.

Наибольшее достигнутое в СССР значение $[dn]_{max}$ при кратковременной работе для крупных прецизионных радиально-упорных шарикоподшипников и цилиндрических роликоподшипников составляет 2 000 000—2 500 000 *мм* об/мин.



Фиг. 5. Предельные числа оборотов для упорных шариковых и сферических упорных роликовых подшипников (по данным Iosef Motzka и Jan Fröhlich, ЧССР).

БЫСТРОХОДНОСТЬ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С СЕПАРАТОРАМИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе длительных стендовых испытаний подшипников качения различных типоразмеров удалось установить основные причины разрушения подшипников того или иного типа при высоких скоростях, а также предельные значения параметра $[d_{cp}\ n]_{max} = n_{max}\frac{d+D}{2}$ для некоторых конструкций сепараторов, представленные в табл. 15.

15. Предельные значения параметра $[d_{cp}\ n]_{max}$ и причины разрушения подшипников[1]

Наименование шарикоподшипника	Предельные значения параметра $[d_{cp}n]_{max}$ в *мм об/мин*	Причины разрушения подшипников
Однорядные радиальные со стальным змейковым сепаратором	350 000	Разрыв сепаратора по заклепочным отверстиям или в местах подсечки штампом (фиг. 6). Иногда износ гнезд и «оседание» сепаратора на борт внутреннего кольца
Однорядные бессепараторные радиальные	400 000*	«Кольцевой износ» шариков (фиг. 7). При малых радиальных зазорах и работе на предельных скоростях кольцевой износ может обнаружиться через 2—3 мин.

Продолжение табл. 15

Наименование шарикоподшипника	Предельные значения параметра $[d_{cp}n]_{max}$ в *мм* об/мин	Причины разрушения подшипников
Однорядные радиальные и радиально-упорные с массивным бронзовым, латунным или дюралевым сепаратором	800 000 при прокачке масла до 1 800 000	Износ гнезд сепаратора от сил надавливания шариков в средней плоскости подшипника; износ шариков, иногда крайне неравномерный, с ростом разноразмерности и появлением автоколебаний шариков в гнездах сепараторов; наволакивание металла сепаратора на желоба и шарики; нагрев и защемление подшипника с пластической деформацией, главным образом шариков
Магнетные с внутренним диаметром 10—12 *мм* и шпиндельные с сепаратором текстолитовым, полиамидным или из прессованной древесины	При смазке масляным туманом 900 000	Разрыв сепараторов по перемычкам или распадение в средней плоскости на две половины при резко выраженном износе сепараторных гнезд; потеря точности вращения; чрезмерный нагрев и защемление с пластической деформацией шариков
Шарикоподшипники, имеющие штампованные сепараторы с загибающимися усиками или лепестками	400 000—500 000	Разгибание усиков и лепестков под действием центробежных сил; поломки усиков с заклиниванием подшипника или торможением и повышенным износом деформированного сепаратора; «оседание» сепаратора на наружное кольцо.
Радиально-упорные четырехточечные с массивным сепаратором из алюминиевых сплавов и бронз	2 000 000—2 500 000	Износ сепараторов по поверхностям, контактирующим с направляющими бортами колец, обычно наружных; износ гнезд сепаратора с интенсивно выраженной пластической деформацией наволакиванием металла сепаратора на шарики и кольца; разрыв сепараторов по одной или нескольким перемычкам; при недостатке смазки появление задиров и заусениц на сепараторе. При обильной и качественной смазке по истечении ресурсного срока, при больших нагрузках, усталостное выкрашивание шариков и желобов внутренних колец. При повышенных посадочных натягах и больших нагрузках иногда происходят разрывы внутренних колец.

[1] По опытным данным ВНИПП.

* В бессепараторных радиально-упорных четырехточечных подшипниках предельные значения параметра значительно выше.

Глава IV

ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Долговечность работы подшипника, наряду с другими факторами в большой степени зависит от характера сопряжения его колец с валом и корпусом и поэтому весьма существенным при проектировании узлов с подшипниками качения является правильное назначение посадок.

Посадки шарико- и роликоподшипников на валы и в корпусы предусмотрены ГОСТ 3325-55.

Для соединения подшипников с валом и корпусом применяются неподвижные и подвижные посадки.

Отклонения диаметров посадочных мест вала и корпуса, а также получаемые при этом натяги и зазоры для подшипников различных классов точности, изготовляемых по ГОСТ 520-55, приведены в табл. 1—8.

На выбор посадки влияют величина, направление и характер нагрузки, тип и конструкция подшипника, его температура при установившемся режиме, метод регулирования внутренних зазоров в подшипниках, условия сборки, вращение вала или корпуса. Кроме того, выбор посадки зависит также от материала и толщины стенки корпуса и от того, имеет ли вал полое или сплошное сечение.

В случае установки подшипника на полом валу прочность посадочного соединения относительно снижается вследствие того, что полый вал после напрессовки на него подшипника сжимается в большей степени, чем вал сплошного сечения. Такое же влияние на прочность соединения оказывает и толщина стенки корпуса. Поэтому для одних и тех же условий эксплуатации посадки на полые валы и в тонкостенные корпуса следует выбирать с относительно большими натягами.

Если корпус выполнен из легкого металла, то ввиду меньшей прочности и повышенного коэффициента температурного удлинения такого металла рекомендуется выбирать более тугую посадку, чем для корпусов, изготовленных из чугуна или стали.

Посадка шарико- и роликоподшипников на вал осуществляется по системе отверстия: предельные отклонения для внутреннего диаметра подшипника остаются постоянными, а при разных посадках изменяются предельные размеры вала (табл. 1 и 3).

Возможные натяги и зазоры между внутренним кольцом подшипника и валом приведены в табл. 2 и 4.

При выборе посадок на вал следует иметь в виду, что характер получаемых соединений его с внутренним кольцом подшипника отличается от обычных одноименных посадок более высокими натягами. Это объясняется тем, что поле допуска по диаметру отверстия внутреннего кольца подшипника расположено в минус от номинального размера, а не в плюс, как это имеет место у основной детали в системе отверстия по ОСТ НКМ 1011 и ОСТ 1012. Поэтому принятые предельные отклонения шеек вала по указанным стандартам позволяют получать следующие группы подшипниковых посадок:

а) посадки с гарантированными натягами:

$Г_{1п}$; $Г_п$ — глухая подшипниковая;

$Т_{1п}$; $Т_п$ — тугая подшипниковая;

$Н_{1п}$; $Н_п$ — напряженная подшипниковая;

б) посадки с натягами-зазорами:

$П_{1п}$; $П_п$ — плотная подшипниковая;

$С_{1п}$; $С_п$ — скользящая подшипниковая;

$Д_{1п}$; $Д_п$ — движения подшипниковая;

1 Посадки шарико- и роликоподшипников классов точности Н, П и В на вал

Номинальный диаметр в *мм*		Отклонения внутреннего диаметра подшипника в *мк*		Посадки																	
				$Г_п$		$Т_п$		$Н_п$		$П_п$		$С_п$		$Д_п$		$Х_п$		$В_з$		$В_4$	
				Предельные отклонения валов в *мк*																	
свыше	до	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
—	6	0	−10	+16	+8	+13	+5	+9	+1	+4	−4	0	−8	−4	−12	−10	−22	—	—	—	—
6	10	0	−10	+20	+10	+16	+6	+12	+2	+5	−5	0	−10	−5	−15	−13	−27	—	—	—	—
10	18	0	−10	+24	+12	+19	+7	+14	+2	+6	−6	0	−12	−6	−18	−16	−33	0	−35	0	−120
18	30	0	−10	+30	+15	+23	+8	+17	+2	+7	−7	0	−14	−8	−22	−20	−40	0	−45	0	−140
30	50	0	−12	+35	+18	+27	+9	+20	+3	+8	−8	0	−17	−10	−27	−25	−50	0	−50	0	−170
50	80	0	−15	+40	+20	+30	+10	+23	+3	+10	−10	0	−20	−12	−32	−30	−60	0	−60	0	−200
80	120	0	−20	+45	+23	+35	+12	+26	+3	+12	−12	0	−23	−15	−38	−40	−75	0	−70	0	−230
120	180	0	−25	+52	+25	+40	+13	+30	+4	+14	−14	0	−27	−18	−45	−50	−90	0	−80	0	−260
180	250	0	−30	+60	+30	+45	+15	+35	+4	+16	−16	0	−30	−22	−52	−60	−105	0	−90	0	−300
250	260	0	−35	+60	+30	+45	+15	+35	+4	+16	−16	0	−30	−22	−52	−60	−105	0	−90	0	−300
260	315	0	−35	+70	+35	+50	+15	+40	+4	+18	−18	0	−35	−26	−60	−70	−125	0	−100	0	−340
315	360	0	−40	+70	+35	+50	+15	+40	+4	+18	−18	0	−35	−26	−60	−70	−125	0	−100	0	−340
360	400	0	−40	+80	+40	+60	+20	+45	+5	+20	−20	0	−40	−30	−70	−80	−140	0	−120	0	−380
400	500	0	−45	+80	+40	+60	+20	+45	+5	+20	−20	0	−40	−30	−70	−80	−140	0	−120	0	−380
500	630	0	−50	+93	+48	+70	+25	+45	0	+23	−22	0	−45	−35	−80	—	—	—	—	—	—
630	800	0	−75	+105	+55	+80	+30	+50	0	+25	−25	0	−50	−40	−90	—	—	—	—	—	—
800	1000	0	−100	+118	+63	+90	+35	+55	0	+28	−27	0	−55	−45	−100	—	—	—	—	—	—
1000	1250	0	−130	+130	+70	+100	+40	+60	0	+30	−30	0	−60	−50	−110	—	—	—	—	—	—

Примечание. Для диаметров свыше 500 *мм* отклонения валов в графах $Г_п$, $Т_п$, $Н_п$, $П_п$, $С_п$, $Д_п$ приняты по ГОСТ 2689-54

в) посадки с гарантированными зазорами:

$X_п$ — ходовая подшипниковая.

Для подшипников на закрепительных и закрепительно-стяжных (буксовых) втулках посадочные шейки вала обрабатываются по калибрам посадок B_3 или B_4 по ОСТ 1023 и ОСТ 1024.

При установке подшипника на конической шейке вала вопрос о назначении предельных диаметров практически отпадает, и посадку с требуемым натягом в этих случаях осуществляют осевым перемещением внутреннего кольца подшипника по валу на соответствующую величину.

Посадки шарико- и роликоподшипников в корпус осуществляются по системе вала; предельные отклонения наружного диаметра подшипника здесь остаются постоянными, а для разных посадок меняются предельные диаметры

2. Натяги и зазоры при посадках шарико- и роликоподшипников классов точности Н, П и В на вал в *мк*

Номинальный диаметр в *мм*		Посадки													
		$Г_п$		$Т_п$		$Н_п$		$П_п$		$С_п$		$Д_п$		$Х_п$	
		Натяги						Натяги и зазоры							
свыше	до	max	min	max	min	max	min	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	min зазор	max зазор
—	6	26	8	23	5	19	1	14	4	10	8	6	12	0	22
6	10	30	10	26	6	22	2	15	5	10	10	5	15	3	27
10	18	34	12	29	7	24	2	16	6	10	12	4	18	6	33
18	30	40	15	33	8	27	2	17	7	10	14	2	22	10	40
30	50	47	18	39	9	32	3	20	8	12	17	2	27	13	50
50	80	55	20	45	10	38	3	25	10	15	20	3	32	15	60
80	120	65	23	55	12	46	3	32	12	20	23	5	38	20	75
120	180	77	25	65	13	55	4	39	14	25	27	7	45	25	90
180	250	90	30	75	15	65	4	46	16	30	30	8	52	30	105
250	260	95	30	80	15	70	4	51	16	35	30	13	52	25	105
260	315	105	35	85	15	75	4	53	18	35	35	9	60	35	125
315	360	110	35	90	15	80	4	58	18	40	35	14	60	30	125
360	400	120	40	100	20	85	5	60	20	40	40	10	70	40	140
400	500	125	40	105	20	90	5	65	20	45	40	15	70	35	140
500	630	143	48	120	25	95	0	73	22	50	45	15	80	—	—
630	800	180	55	155	30	125	0	100	25	75	50	35	90	—	—
800	1000	218	63	190	35	155	0	128	27	100	55	55	100	—	—
1000	1250	260	70	230	40	190	0	160	30	130	60	80	110	—	—

3. Посадки шарико- и роликоподшипников классов точности А и С на вал

Номинальный диаметр в *мм*		Отклонения внутреннего диаметра подшипника в *мк*		Посадки									
				$Г_{1п}$		$Т_{1п}$		$Н_{1п}$		$П_{1п}$		$С_{1п}$	
				Предельные отклонения вала в *мк*									
свыше	до	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
—	6	−2	−8	+13	+8	+10	+5	+6	+1	+3	−2	0	−5
6	10	−2	−8	+16	+9	+12	+6	+8	+2	+4	−3	0	−6
10	18	−2	−8	+20	+11	+15	+7	+10	+2	+5	−3	0	−8
18	30	−2	−8	+24	+13	+17	+8	+12	+2	+6	−3	0	−9
30	50	−3	−10	+28	+16	+20	+9	+14	+2	+7	−4	0	−11
50	80	−4	−12	+33	+19	+24	+10	+16	+3	+8	−5	0	−13
80	120	−5	−15	+38	+23	+28	+12	+19	+3	+9	−6	0	−15
120	180	−6	−18	+45	+26	+32	+14	+22	+4	+10	−7	0	−18
180	250	−7	−22	+52	+30	+36	+16	+25	+4	+11	−8	0	−20
250	260	−8	−28	+52	+30	+36	+16	+25	+4	+11	−8	0	−20
260	315	−8	−28	+58	+35	+40	+18	+28	+4	+13	−9	0	−22
315	360	−10	−35	+58	+35	+40	+18	+28	+4	+13	−9	0	−22
360	400	−10	−35	+65	+40	+45	+20	+32	+5	+15	−10	0	−25

4. Натяги и зазоры при посадках шарико- и роликоподшипников классов точности А и С на вал в *мк*

Номинальный диаметр в *мм*		Посадки									
		$Г_{1п}$		$Т_{1п}$		$Н_{1п}$		$П_{1п}$		$С_{1п}$	
		Натяги						Натяги и зазоры			
свыше	до	max	min	max	min	max	min	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор
—	6	21	10	18	7	14	3	11	0	8	3
6	10	24	11	20	8	16	4	12	1	8	4
10	18	28	13	23	9	18	4	13	1	8	6
18	30	32	15	25	10	20	4	14	1	8	7
30	50	38	19	30	12	24	5	17	1	10	8
50	80	45	23	36	14	28	7	20	1	12	9
80	120	53	28	43	17	34	8	24	1	15	10
120	180	63	32	50	20	40	10	28	1	18	12
180	250	74	37	58	23	47	11	33	1	22	13
250	260	80	38	64	24	53	12	39	0	28	12
260	315	86	43	68	26	56	12	41	1	28	14
315	360	93	45	75	28	63	14	48	— 1	35	12
360	400	100	50	80	30	67	15	50	0	35	15

отверстий корпусов (табл. 5 и 7) по ОСТ 1022; ОСТ 1023 и ОСТ НКМ-1021.

Возможные зазоры и натяги между наружным кольцом подшипника и корпусом приведены в табл. 6 и 8.

Обработка отверстий корпусов по калибрам посадок указанных стандартов позволяет применять для подшипников следующие группы посадок:

а) Посадки с натягами-зазорами:

$Г_{1п}$; $Г_п$ — глухая подшипниковая;

$Т_{1п}$; $Т_п$ — тугая подшипниковая;

$Н_{1п}$; $Н_п$ — напряженная подшипниковая;

$П_{1п}$; $П_п$ — плотная подшипниковая;

б) посадки с гарантированными зазорами:

$С_{1п}$; $С_п$; $С_{3п}$ — скользящая подшипниковая [1];

$Д_п$ — движения подшипниковая.

В особых случаях, когда на опору действуют тяжелые нагрузки или корпуса выполнены тонкостенными, подшипники устанавливают в отверстия корпусов с прессовой посадкой $Р_7$ по системе ISA—3 (табл. 5 и 6).

При свободных посадках монтаж и демонтаж подшипника облегчается. Однако это не должно служить причиной отказа от неподвижных посадок, если последние требуются по условиям работы. Обычно удобный монтаж и демонтаж обеспечиваются при конструировании подшипникового узла выбором соответствующего типа подшипника с учетом требований сборки.

Практикой установлено, что предотвратить проворачивание кольца подшипника на шейке вала или в гнезде корпуса можно только посадками с такими натягами, при которых под действием заданной радиальной нагрузки исключается возможность образования зазора между сопрягаемыми поверхностями.

Осевым креплением кольца подшипника на валу или в корпусе нельзя предохранить его от проворачивания, если сила трения на стыках не будет постоянно превышать радиальную нагрузку на опору, что практически нельзя обеспечить. Проворачивание колец, которые по условиям работы должны устанавливаться на вал или в корпус с натягами, вызывает быстрый износ сопрягаемых поверхностей как вала (корпуса), так и колец подшипника, особенно когда эти поверхности не смазаны и тяжело нагружены.

В отдельных конструкциях подшипниковых узлов по условиям эксплуатации приходится отказываться от выбора оптимальной для данного подшипника посадки.

Так, например, валки прокатных станов в процессе эксплуатации подвергаются многократной перевалке, связанной со снятием подшипников с шеек валков,

[1] У посадок $С_п$ и $С_{3п}$ минимальный посадочный зазор равен нулю.

5. Посадки шарико- и роликоподшипников классов точности Н, П и В в корпус

Номинальный диаметр в *мм*		Отклонения наружного диаметра подшипника в *мк*		Посадки															
				P_7—1SA		$Г_п$		$Т_п$		$Н_п$		$П_п$		$С_п = А$		$С_{зп} = А_з$		$Д_п$	
				Предельные отклонения отверстия корпуса в *мк*															
свыше	до	верх.	нижн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.
—	18	0	−8	−29	−11	−24	−5	−19	0	−14	+5	−6	+13	0	+19	0	+35	+6	+25
18	30	0	−9	−35	−14	−30	−6	−23	0	−17	+6	−7	+16	0	+23	0	+45	+8	+30
30	50	0	−11	−42	−17	−35	−7	−27	0	−20	+7	−8	+18	0	+27	0	+50	+10	+35
50	80	0	−13	−51	−21	−40	−8	−30	0	−23	+8	−10	+20	0	+30	0	+60	+12	+42
80	120	0	−15	−59	−24	−45	−10	−35	0	−26	+9	−12	+23	0	+35	0	+70	+15	+50
120	150	0	−18	−68	−28	−52	−12	−40	0	−30	+10	−14	+27	0	+40	0	+80	+18	+60
150	180	0	−25	−68	−28	−52	−12	−40	0	−30	+10	−14	+27	0	+40	0	+80	+18	+60
180	250	0	−30	−79	−33	−60	−15	−45	0	−35	+11	−16	+30	0	+45	0	+90	+22	+70
250	260	0	−35	−88	−36	−60	−15	−45	0	−35	+11	−16	+30	0	+45	0	+90	+22	+70
260	315	0	−35	−88	−36	−70	−18	−50	0	−40	+12	−18	+35	0	+50	0	+100	+26	+80
315	360	0	−40	−98	−41	−70	−18	−50	0	−40	+12	−18	+35	0	+50	0	+100	+26	+80
360	400	0	−40	−98	−41	−80	−20	−60	0	−45	+15	−20	+40	0	+60	0	+120	+30	+90
400	500	0	−45	−108	−45	−80	−20	−60	0	−45	+15	−20	+40	0	+60	0	+120	+30	+90
500	630	0	−50	−120	−50	−93	−23	−70	0	−45	+25	−23	+47	0	+70	0	+140	+35	+105
630	800	0	−75	−135	−55	−105	−25	−80	0	−50	+30	−25	+55	0	+80	0	+150	+40	+120
800	1000	0	−100	−155	−62	−118	−28	−90	0	−55	+35	−28	+62	0	+90	0	+170	+45	+135
1000	1250	0	−130	—	—	−130	−30	−100	0	−60	+40	−30	+70	0	+100	0	+200	+50	+150
1250	1600	0	−160	—	—	−143	−33	−110	0	−65	+45	−33	+77	0	+110	0	+220	+55	+165

Примечание. Для диаметров свыше 500 *мм* отклонения отверстий в графах $Г_п$, $Т_п$, $Н_п$, $П_п$, $С_п$, $С_{зп}$, $Д_п$ приняты по ГОСТ 2689-54.

6. Натяги и зазоры при посадках шарико- и роликоподшипников классов точности Н, П и В в корпусе в *мк*

Номинальный диаметр в *мм*		Посадки															
		P_7-1SA		$Г_П$		$Т_П$		$Н_П$		$П_П$		$С_П=А$		$С_{ЗП}=А_З$		$Д_П$	
		Натяги и зазоры															
свыше	до	max натяг	min натяг	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	min зазор	max зазор
—	18	29	3	24	3	19	8	14	13	6	21	0	27	0	43	6	33
18	30	35	5	30	3	23	9	17	15	7	25	0	32	0	54	8	39
30	50	42	6	35	4	27	11	20	18	8	29	0	38	0	61	10	46
50	80	51	8	40	5	30	13	23	21	10	33	0	43	0	73	12	55
80	120	59	9	45	5	35	15	26	24	12	38	0	50	0	85	15	65
120	150	68	10	52	6	40	18	30	28	14	45	0	58	0	98	18	78
150	180	68	3	52	13	40	25	30	35	14	52	0	65	0	105	18	85
180	250	79	3	60	15	45	30	35	41	16	60	0	75	0	120	22	100
250	260	88	1	60	20	45	35	35	46	16	65	0	80	0	125	22	105
260	315	88	1	70	17	50	35	40	47	18	70	0	85	0	135	26	115
315	360	98	1	70	22	50	40	40	52	18	75	0	90	0	140	26	120
360	400	98	1	80	20	60	40	45	55	20	80	0	100	0	160	30	130
400	500	108	0	80	25	60	45	45	60	20	85	0	105	0	165	30	135
500	630	120	0	93	27	70	50	45	75	23	97	0	120	0	190	35	155
630	800	135	−20	105	50	80	75	50	105	25	130	0	155	0	225	40	195
800	1000	155	−38	118	72	90	100	55	135	28	162	0	190	0	270	45	235
1000	1250	—	—	130	100	100	130	60	170	30	200	0	230	0	330	50	280
1250	1600	—	—	143	127	110	160	65	205	33	237	0	270	0	380	55	325

7. Посадки шарико- и роликоподшипников классов точности А и С в корпусе

Номинальный диаметр в *мм*		Отклонения наружного диаметра подшипника в *мк*		Посадки									
				$Г_{1п}$		$Т_{1п}$		$Н_{1п}$		$П_{1п}$		$С_{1п}$	
				Предельные отклонения отверстия корпуса в *мк*									
свыше	до	верхн.	нижн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.
—	18	−2	−6	−20	−8	−15	−4	−10	+1	−5	+7	0	+11
18	30	−2	−7	−24	−10	−17	−4	−12	+2	−6	+8	0	+13
30	50	−2	−8	−28	−12	−20	−5	−14	+2	−7	+9	0	+15
50	80	−3	−10	−33	−14	−24	−5	−16	+2	−8	+10	0	+18

Продолжение табл. 7

Номинальный диаметр в *мм*		Отклонения наружного диаметра подшипника в *мк*		Посадки									
				$Г_{1п}$		$Т_{1п}$		$Н_{1п}$		$П_{1п}$		$С_{1п}$	
				Предельные отклонения отверстия корпуса в *мк*									
свыше	до	верхн.	нижн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.
80	120	−4	−12	−38	−17	−28	−6	−19	+3	−9	+12	0	+21
120	150	−5	−15	−45	−20	−32	−7	−22	+3	−10	+14	0	+24
150	180	−6	−18	−45	−20	−32	−7	−22	+3	−10	+14	0	+24
180	250	−7	−22	−52	−23	−36	−8	−25	+3	−11	+16	0	+27
250	260	−8	−28	−52	−23	−36	−8	−25	+3	−11	+16	0	+27
260	315	−8	−28	−58	−27	−40	−9	−28	+4	−13	+18	0	+30
315	360	−10	−30	−58	−27	−40	−9	−28	+4	−13	+18	0	+30
360	400	−10	−30	−65	−30	−45	−10	−32	+5	−15	+20	0	+35
400	500	−10	−35	−65	−30	−45	−10	−32	+5	−15	+20	0	+35

8. Натяги и зазоры при посадках шарико- и роликоподшипников классов точности А и С в корпусе в *мк*

Номинальный диаметр в *мм*		Посадки									
		$Г_{1п}$		$Т_{1п}$		$Н_{1п}$		$П_{1п}$		$С_{1п}$	
		натяги		Натяги и зазоры							
свыше	до	max	min	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	max натяг	max зазор	min зазор	max зазор
—	18	18	2	13	2	8	7	3	13	2	17
18	30	22	3	15	3	10	9	4	15	2	20
30	50	26	4	18	3	12	10	5	17	2	23
50	80	30	4	21	5	13	12	5	20	3	28
80	120	34	5	24	6	15	15	5	24	4	33
120	150	40	5	27	8	17	18	5	29	5	39
150	180	39	2	26	11	16	21	4	32	6	42
180	250	45	1	29	14	18	25	4	38	7	49
250	260	44	−5	28	20	17	31	3	44	8	55
260	315	50	−1	32	19	20	32	5	46	8	58
315	360	48	−3	30	21	18	34	3	48	10	60
360	400	55	0	35	20	22	35	5	50	10	65
400	500	55	−5	35	25	22	40	5	55	10	70

для чего подшипники устанавливают на шейки валков с посадкой легкоходовая подшипниковая ($Л_п$ или $Л_{3п}$).

Во избежание интенсивного износа шейки валков должны иметь твердость *HRC* 40—45 и удовлетворительно смазываться в эксплуатации.

В разъемных корпусах неподвижная посадка наружного кольца может вызвать защемление тел качения подшипника. Поэтому при таких посадках следует избегать применения разъемных корпусов.

Существенное значение для работы подшипников нерегулируемого типа имеет величина внутреннего зазора, так как после посадки на вал или в корпус таких подшипников с натягами начальный внутренний зазор в них уменьшается.

Согласно экспериментальным данным увеличение диаметра внутреннего кольца составляет около 0,7, а уменьшение диаметра вала — около 0,3 посадочного натяга; уменьшение диаметра наружного кольца составляет около 0,4, а расширение корпуса около 0,6 посадочного натяга. Эти величины указывают на то, что при чрезмерно больших натягах не исключается опасность преждевременного разрушения подшипников во время эксплуатации вследствие заклинивания тел качения.

В практике машиностроения часто встречаются узлы, в которых подшипники устанавливаются с увеличенным начальным радиальным зазором.

В радиально-упорных и двойных упорных подшипниках регулируемых типов зазоры устанавливаются регулированием взаимного положения колец при монтаже или в процессе эксплуатации.

Рабочая температура подшипника также оказывает влияние на его посадку. Развивающееся в подшипнике тепло отводится через наружное кольцо и корпус и через внутреннее кольцо и вал. Вследствие того, что внутреннее кольцо подшипника и вал нагреваются неравномерно, посадка должна быть тем более тугой, чем выше предполагаемая рабочая температура подшипника и чем больше способность вала к отводу тепла.

Если корпус сильно охлаждается, то посадка наружного кольца подшипника в корпус должна осуществляться с относительно меньшим натягом.

При наличии высоких требований к точности опор шпинделей металлообрабатывающих станков свободная посадка колец подшипников, как правило, не допускается.

В подобных случаях необходимо, чтобы посадочные места шпинделя и корпуса были обработаны в жестких допусках.

Если подшипник временами полностью разгружается, то следует избегать посадок с малым натягом даже в том случае, когда можно было бы допустить их по условиям нагружения колец, так как в момент разгрузки неплотно установленное кольцо начинает проворачиваться по валу или в корпусе при отсутствии сил трения. В момент же, когда нагрузка вновь появляется, кольцо подшипника мгновенно затормаживается и сопряженные поверхности могут оказаться поврежденными.

Радиальная нагрузка уплотняет материал циркуляционно-нагруженного кольца в радиальном направлении, в результате чего посадочный натяг несколько уменьшается под нагрузкой подшипника. Отсюда следует, что чем больше радиальная нагрузка, тем более тугая должна быть посадка.

УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ ПОСАДОК

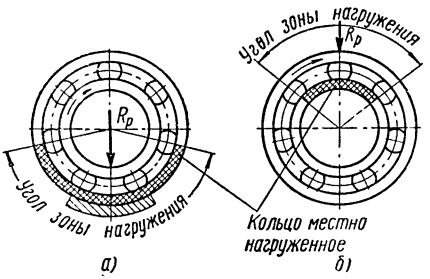
При выборе посадок необходимо учитывать вид нагружения колец подшипника, интенсивность нагрузки на посадочной поверхности вала или корпуса, условия эксплуатации подшипникового узла.

Виды нагружения колец. Характер посадки внутреннего и наружного колец зависит от того, вращается или не вращается данное кольцо относительно действующей на подшипник радиальной нагрузки. В связи с этим различают следующие виды нагружения колец: местное, циркуляционное и колебательное.

Местным называется такое нагружение кольца, когда действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка постоянно воспринимается лишь ограниченным участком дорожки качения и передается соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса. Такое нагружение имеет место, когда кольцо не вращается относительно нагрузки (фиг. 1, *а* и *б*).

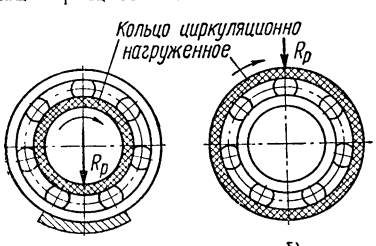
Циркуляционным называется такое нагружение кольца, когда действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка (фиг. 2, *а* и *б*) последовательно воспринимается всей окружностью

дорожки качения и передается также последовательно на всю окружность посадочной поверхности вала или корпуса.

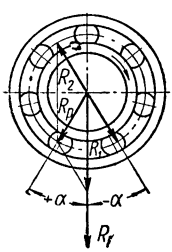


Фиг. 1. Местное нагружение: *а* — вращается вал; *б* — вращается корпус.

Такое нагружение наблюдается, когда кольцо вращается относительно постоянной по направлению радиальной нагрузки, или когда направление нагрузки изменяется (вращающаяся нагрузка) по отношению к неподвижному кольцу или, наконец, когда кольцо и нагрузка вращаются с разными скоростями.



Фиг. 2. Циркуляционное нагружение: *а* — вращается вал; *б* — вращается корпус.



Фиг. 3. Колебательное нагружение

Колебательным называется такое нагружение кольца, когда на подшипник совместно действуют нагрузка R_1, постоянная по направлению и вращающаяся нагрузка R_2, причем равнодействующая этих нагрузок (при $R_2 < R_1$) не совершает полного оборота, а колеблется на определенном участке невращающегося кольца на угол $\pm \alpha$; такое же нагружение имеет и посадочная поверхность вала или корпуса (фиг. 3).

При наличии вращающейся нагрузки R_2 вид нагружения колец подшипников может быть определен по табл. 9.

9. Виды нагружения колец в зависимости от $\frac{R_2}{R_1}$

$\frac{R_2}{R_1}$		Вид нагружения кольца	
Свыше	до	вращающегося	невращающегося
—	0,25	циркуляционное	местное
0,25	1,20	циркуляционное	колебательное
1,20	—	колебательное	циркуляционное

Посадки радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников

Для радиальных и радиально-упорных подшипников могут быть рекомендованы посадки на вал и в корпус, указанные в табл. 10 и 11.

10. Посадки внутреннего кольца на вал

Виды нагружения кольца	Посадки
Местное	$П_п$; $С_п$; $Д_п$; $Х_п$; $П_{1п}$ $С_{1п}$
Циркуляционное . . .	$П_п$; $Н_п$; $Т_п$; $Г_п$; $Л_п$ $Л_{3п}$; $П_{1п}$; $Н_{1п}$; $Т_{1п}$ $Г_{1п}$
Колебательное	$П_п$; $Н_п$; $П_{1п}$

11. Посадки наружного кольца в корпус

Виды нагружения кольца	Посадки
Местное	$Х_п$; $Д_п$; $С_{3п}$; $С_п$; $П_п$ $Н_п$; $С_{1п}$; $П_{1п}$;
Циркуляционное . . .	$Н_п$; $Т_п$; $Г_п$; $Р_г$; $Н_{1п}$; $Т_{1п}$; $Г_{1п}$;
Колебательное	$П_п$; $Н_п$; $П_{1п}$

Посадки $Л_п$ и $Л_{3п}$ следует назначать для шеек, когда необходимо часто снимать подшипники с вала.

Посадку $Н_п$ (табл. 11) следует назначать для корпусов из цветного металла. В этом случае рекомендуют (особенно при силуминовых корпусах) запрессовку в корпус стальных втулок.

Посадку колец сдвоенных подшипников, устанавливаемых с внутренним предварительным натягом, выбирают, как правило, плотную $П_{1п}$ по валу и скользящую $С_{1п}$ или $С_п$ по корпусу.

При применении радиальных и радиально-упорных подшипников класса точности А и С посадки их на вал и в корпус следует выбирать по 1-му классу точности по ОСТ НКМ 1011 и ОСТ НКМ 1021.

В точных узлах металлообрабатывающих станков и приборов с целью уменьшения колебания натяга производят селективную подборку, сортируя валы и корпусы на две группы с сортировочным допуском в каждой из них, равным половине поля допуска на изготовление этих деталей. Подшипники также сортируют, после чего производится сборка узла из деталей одной сортировочной группы. При таком способе сборки разброс величин натяга уменьшается вдвое.

Регулировку осевой игры радиально-упорных шарико- и роликоподшипников производят осевым смещением местно нагруженного кольца на валу или в корпусе.

Посадки игольчатых подшипников со штампованным кольцом

Для игольчатых подшипников со штампованными тонкостенными кольцами рекомендуется обрабатывать посадочные поверхности корпуса по калибрам $П_п$ для корпусов из стали или чугуна и $Н_п$ — для корпусов из силумина или другого легкого сплава (ОСТ 1022).

Шейки вала обрабатывают по калибрам посадок В (ОСТ 1022), $П_п$ или $Н_п$ (ОСТ 1012). Посадку подшипников следует осуществлять методом селективного подбора.

Чистота рабочей поверхности шейки должна быть не ниже ▽ 8.

Овальность и конусность принимаются каждая не более 0,25 допуска на диаметр шейки вала.

Твердость посадочной поверхности должна быть *HRC* 60—64.

Для малоуглеродистых сталей глубина цементации шейки вала средних диаметров принимается от 1 до 1,5 *мм*.

Посадки подшипников при осевой нагрузке

Внутренние кольца радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников, воспринимающих только осевую нагрузку, рекомендуется устанавливать на шейки валов:

а) при скорости вращения менее $0{,}6\,n_{max}$ по посадке $С_п$;

б) при скорости вращения свыше $0{,}6\,n_{max}$ по посадке $П_п$,

где: n_{max} — предельное число оборотов подшипника по каталогу.

Наружные кольца подшипников устанавливают в корпусы с зазором от 0,5 до 2,5 *мм* в зависимости от величины наружного диаметра подшипника; при таком зазоре исключается возможность нагружения их радиальной нагрузкой.

Выбор посадок для циркуляционно-нагруженных колец подшипников классов точности Н, П и В

Новый метод выбора посадок подшипников при циркуляционном нагружении колец разработан Центральным монтажно-техническим бюро треста «Союзподшипниксбыт».

По этому методу требуемую посадку определяют по величине интенсивности радиальной нагрузки $P_п$ на посадочной поверхности и радиальной жесткости вала или корпуса в месте посадки подшипника качения.

Допускаемые значения $P_п$, подсчитанные по средним величинам посадочных натягов, приведены в табл. 12.

12. Допускаемая интенсивность $Р_п(P'_п)$ нагрузки для различных посадок в *т/см*

Внутренний диаметр *d* подшипника в *мм*		Посадки на вал			
свыше	до	$П_п$	$Н_п$	$Т_п$	$Г_п$
18	80	До 0,30	0,30—1,35	1,35—1,60	1,60—3,0
80	180	» 0,55	0,55—2,0	2,0 —2,50	2,50—4,0
180	360	» 0,70	0,70—3,0	3,0 —3,50	3,50—6,0
360	630	» 0,90	0,90—3,40	3,40—4,50	4,50—8,0
630	1000	» 1,20	1,20—5,50	5,50— 7,0	7,0 —12,0

Продолжение табл. 12

Наружный диаметр D подшипника в *мм*		Посадки в корпус			
свыше	до	$Н_п$	$Т_п$	$Г_п$	$Р_п$
50	180	До 0,80	0,80—1,0	1,0 —1,30	1,30—2,50
180	360	» 1,0	1,0—1,50	1,50—2,0	2,0 —3,30
360	630	» 1,20	1,20—2,0	2,0 —2,60	2,60—4,0
630	1 600	» 1,60	1,60—2,50	2,50—3,50	3,50—5,50

Примечания: 1. Если вычисленная величина $P_п$ превышает более чем на 30% нижний предел допускаемой интенсивности нагрузки для посадки $Г_п$, рекомендуется в этих случаях повысить твердость шейки вала.

2. При установке в корпус циркуляционно-нагруженного наружного кольца подшипника необходимо обеспечить селективной подборкой натяг не менее 0,5 Δ_{max} между сопряженными поверхностями. Максимальные натяги (Δ_{max}) посадок приведены в табл. 6.

Интенсивность нагрузки $P_п$ на посадочной поверхности шейки вала или отверстия корпуса определяют расчетным путем по формулам:

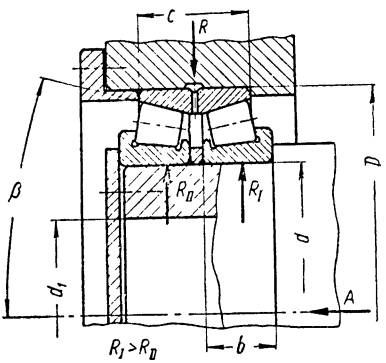
для вала

$$P_п = \frac{R}{b} K_п F \cdot F_A;$$

для корпуса

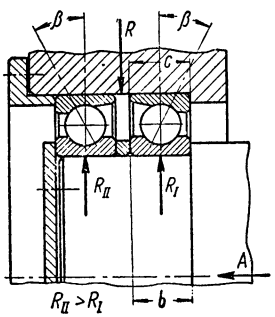
$$P'_п = \frac{R}{C} K_п F \cdot F_A,$$

где R — расчетная радиальная реакция опоры в $т$; b — ширина внутреннего кольца подшипника в *см*; C — ширина наружного кольца подшипника в *см*; $K_п$ — динамический коэффициент посадки, зависящий от характера нагрузки. Числовые значения $K_п$ приведены в табл. 13; F — коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе, значения которого приведены в табл. 14, в зависимости от величины отношений $\frac{d_1}{d}$ или $\frac{D}{D_к}$; F_A — коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки между рядами роликов в двухрядном коническом роликоподшипнике (фиг. 4) или между сдвоенными шарико- и роликоподшипниками (фиг. 5) при наличии осевой нагрузки A.



Фиг. 4. Двухрядный конический роликоподшипник.

Числовые значения F_A, зависящие от величины $\frac{A \operatorname{ctg} \beta}{R}$, приведены в табл. 15.



Фиг. 5. Сдвоенные радиально-упорные шарикоподшипники

13. Динамический коэффициент посадки $K_п$

Характер нагрузки	$K_п$
Нагрузка с умеренными толчками и вибрацией Перегрузка до 150 % ($K_б < 1,5$)	1,0
Нагрузка с сильными ударами и вибрацией Перегрузка до 300 % ($K_б > 1,5$)	1,8

Примечание. $K_б$ — коэффициент безопасности, принятый в расчете подшипника качения на долговечность (см гл. III, табл. 7).

14. Значение коэффициента F

$\frac{d_1}{d}$ и $\frac{D}{D_к}$		Вал			Корпус
свыше	до	при $\frac{D}{d} \leqslant 1{,}5$	при $\frac{D}{d} > 1{,}5$ — 2,0	при $\frac{D}{d} >$ 2,0—3,0	для всех подшипников
—	0,40	1,0	1,0	1,0	1,0
0,40	0,70	1,20	1,40	1,60	1,10
0,70	0,80	1,50	1,70	2,0	1,40
0,80	—	2,0	2,30	3,0	1,80

Поправочный коэффициент F определяют по следующим формулам:

а) Вал — внутреннее кольцо подшипника

$$F = \frac{1 - \left(\frac{d}{d_0} \cdot \frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2};$$

для вала сплошного сечения $d_1 = 0$, $F = 1$.

Здесь d — внутренний диаметр подшипника; d_1 — диаметр отверстия вала; d_0 — приведенный наружный диаметр внутреннего кольца подшипника с прямоугольным профилем сечения, площадь которого равна действительной площади сечения кольца той же ширины и того же внутреннего диаметра.

$$\frac{d}{d_0} = \frac{4d}{D + 3d};$$

б) Стальной корпус — наружное кольцо подшипника

$$F = \frac{1 - \left(\frac{D}{D_к} \cdot \frac{D_0}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{D}{D_к}\right)^2};$$

для корпуса $D_к = \infty$, $F = 1$.

Здесь D — наружный диаметр подшипника; $D_к$ — наружный диаметр корпуса; D_0 — приведенный внутренний диаметр наружного кольца с прямоугольным профилем сечения;

$$\frac{D_0}{D} = \frac{3D + d}{4D}.$$

Минимальные расчетные натяги посадок для циркуляционно-нагруженных колец подшипников класса точности А и С на вал или в корпус могут быть определены по формулам, приведенным на стр. 148—149.

15. Коэффициент F_A неравномерности распределения радиальной нагрузки

$\frac{A \operatorname{ctg} \beta}{R}$		F_A
свыше	до	
—	0,20	0,5
0,20	0,40	0,6
0,40	0,60	0,7
0,60	1,0	0,8
1,0	—	1,0

Обозначения: A и R — осевая и радиальная нагрузки на подшипник; β — угол контакта тел качения с дорожками качения наружных колец.

Примечание: Для радиальных и радиально-упорных подшипников с одним внутренним или наружным кольцами $F_A = 1$.

Посадки четырехрядных конических роликоподшипников, подвергаемых частому демонтажу

Посадки внутренних и наружных колец четырехрядных конических роликоподшипников на вал и в корпус рекомендуется выбирать по табл. 16 и 17. Возможные зазоры между кольцом подшипника и валом (корпусом) приведены в табл. 18 и 19.

16. Посадки $Л_п$ и $Л_{3п}$ внутреннего кольца подшипника на вал

Номинальный диаметр d в мм		Отклонения внутреннего диаметра подшипника в мк		Посадки			
				$Л_п$		$Л_{3п}$	
				Предельные отклонения валов в мк			
свыше	до	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
120	180	0	—25	—100	—155	—	—
180	250	0	—30	—120	—180	—	—
250	260	0	—35	—120	—180	—	—
260	315	0	—35	—140	—210	—	—
315	360	0	—40	—140	—210	—	—
360	400	0	—40	—170	—245	—	—
400	500	0	—45	—170	—245	—	—
500	630	0	—50	—	—	—190	—330
630	800	0	—75	—	—	—210	—360
800	1000	0	—100	—	—	—240	—410
1000	1250	0	—130	—	—	—270	—470

Примечание. Для диаметров до 500 мм отклонения валов приняты по ОСТ 1012, свыше 500 мм — по ГОСТ 2689-54.

17. Посадки $Д_п$ и $Х_п$ наружного кольца подшипника в корпус

Номинальный диаметр D в *мм*		Отклонения наружного диаметра подшипника в *мк*		Посадки			
				$Д_п$		$Х_п$	
				Предельные отклонения отверстий в *мк*			
свыше	до	верхн.	нижн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.
180	250	0	−30	+22	+70	—	—
250	260	0	−35	+22	+70	—	—
260	315	0	−35	+26	+80	—	—
315	360	0	−40	+26	+80	—	—
360	400	0	−40	+30	+90	—	—
400	500	0	−45	+30	+90	—	—
500	630	0	−50	—	—	+100	+170
630	800	0	−75	—	—	+110	+190
800	1000	0	−100	—	—	+120	+210
1000	1250	0	−130	—	—	+130	+230
1250	1600	0	−160	—	—	+150	+260

Примечание. Для диаметров до 500 *мм* отклонения отверстий приняты по ОСТ 1022, свыше 500 *мм* по ГОСТ 2689-54

Твердость посадочной поверхности шеек вала не ниже *HRC* 40—45.

Чистота поверхности шейки вала не ниже ▽ 7; отверстия корпуса — не ниже ▽ 6.

При наличии принудительного ввода смазки между посадочными поверхностями шейки вала и внутренних колец подшипника допускается применение посадок $Л_п$ и $Л_{3п}$ по ОСТ 1012 и ГОСТ 2689-54 при окружных скоростях на шейке вала не более 8 *м/сек* для рабочего валка и 6 *м/сек* для опорного валка.

Посадки упорных подшипников

«Тугим» называют кольцо упорного подшипника, у которого внутренний диаметр d является посадочным.

У «свободного» кольца посадочным является наружный диаметр D.

Для тугого кольца упорных шарикоподшипников применяют посадку $П_п$ или $Н_п$. Для тугого кольца упорных роликоподшипников — посадку Нп или Тп.

Свободное кольцо упорных подшипников устанавливается в отверстии вращающейся детали с посадкой $П_п$.

Во избежание путаницы колец, следует всегда иметь в виду, что внутренний диаметр свободного кольца больше внутреннего диаметра тугого кольца на 0,2—1,0 *мм* в зависимости от размера подшипника.

При установке тугого кольца на валу, вращающемся на радиальных подшипниках качения, свободное кольцо устанавливается в отверстие корпуса с гарантированным радиальным зазором не менее 0,5—1 *мм* на сторону в зависимости от размера подшипника.

При радиальных подшипниках скольжения гарантированный радиальный зазор увеличивается и составляет 1,5—3 *мм*.

Вал или втулка на участке, расположенном под сепаратором и свободным кольцом, могут быть обработаны по посадке $Х_4$ по ОСТ 1014.

Если упорный подшипник устанавливается на вертикальном валу без радиальной опоры, то необходимость установки колец с гарантированным зазором отпадает. В этих случаях подшипник устанавливается на вал с посадкой $П_п$, а в корпус — с посадкой $Х_3$ по ОСТ 1023.

18. Зазоры при посадках $Л_п$ и $Л_{3п}$ внутреннего кольца подшипника на вал в *мк*

Номинальный диаметр d в *мм*		Посадки			
		$Л_п$		$Л_{3п}$	
		Зазоры			
свыше	до	min	max	min	max
120	180	75	155	—	—
180	250	90	180	—	—
250	260	85	180	—	—
260	315	105	210	—	—
315	360	100	210	—	—
360	400	130	245	—	—
400	500	125	245	—	—
500	630	—	—	140	330
630	800	—	—	135	360
800	1000	—	—	140	410
1000	1250	—	—	140	470

19. Зазоры при посадках $Д_п$ и $Х_п$ наружного кольца подшипника в корпус в *мк*

Номинальный диаметр D в *мм*		Посадки			
		$Д_п$		$Х_п$	
		Зазоры			
свыше	до	min	max	min	max
180	250	22	100	—	—
250	260	22	105	—	—
260	315	26	115	—	—
315	360	26	120	—	—
360	400	30	130	—	—
400	500	30	135	—	—
500	630	—	—	100	220
630	800	—	—	110	265
800	1000	—	—	120	310
1000	1250	—	—	130	360
1250	1600	—	—	150	420

Примеры выбора посадок при циркуляционном нагружении

Пример 1. В фиксирующей опоре полого вала (фиг. 4) установлен двухрядный конический роликоподшипник 97180, для которого угол контакта $\beta=15°$; внутренний диаметр подшипника $d=400$ *мм*; наружный диаметр подшипника $D=600$ *мм*; ширина внутреннего кольца $b=90$ *мм*.

На подшипник действуют: радиальная нагрузка $R=37$ *т*; осевая нагрузка $A=6$ *т*; нагрузка с сильными ударами и вибрацией. Перегрузка до 300%.

Требуется выбрать посадку подшипника на вал. Диаметр отверстия вала $d_1=200$ *мм*.

По табл. 13 определяем динамический коэффициент посадки $K_п = 1{,}8$.

Отношение диаметров $\frac{D}{d} = \frac{600}{400} = 1{,}5$;

$$\frac{d_1}{d} = \frac{200}{400} = 0{,}5$$

По табл. 14 находим поправочный коэффициент $F=1{,}2$.

Величина $\frac{A \operatorname{ctg} \beta}{R} = \frac{6}{37} 3{,}732 = 0{,}605$.

По табл. 15 находим коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки $F_A = 0{,}80$.

Интенсивность нагрузки подсчитываем по формуле

$$P_п = \frac{R}{b} \cdot K_п \cdot F \cdot F_A = \frac{37}{9} 1{,}8 \cdot 1{,}2 \times$$

$$\times 0{,}8 = 7{,}1 \text{ } т/см.$$

Согласно табл. 12 для интервалов диаметров 360—630 *мм* заданному условию $P_п = 7{,}1$ *т/см* удовлетворяет глухая подшипниковая посадка $Г_п$.

Однако полученная интенсивность нагрузки 7,1 *т/см* превышает на 30% нижний предел допускаемой интенсивности нагрузки, указанной в табл. 12 для посадки $Г_п$ (7,1 > 1,3·4,5), поэтому в данном случае следует применить закалку шейки вала.

Пример 2. В опорном ролике (фиг. 6) вращающейся печи установлен двухрядный конический роликоподшипник 2097144, для которого внутренний диаметр подшипника $d=220$ *мм*; наружный диаметр подшипника $D=340$ *мм*; ширина наружного кольца подшипника $C=130$ *мм*.

На подшипник действуют: радиальная нагрузка $R=11$ *т*; осевая нагрузка $A=1{,}5$ *т*; нагрузка с умеренными толчками и вибрацией. Перегрузка до 150%.

Требуется выбрать посадку подшипника в ролик. Наружный диаметр (средний) ролика $D_к = 450$ *мм*.

По табл. 13 определяем динамический коэффициент посадки $K_п = 1$.

Отношение диаметров

$$\frac{D}{D_к} = \frac{340}{450} = 0{,}75; \qquad \frac{D}{d} = \frac{340}{220} = 1{,}55.$$

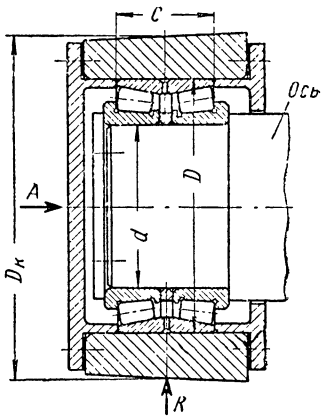
По табл. 14 поправочный коэффициент принимаем $F=1{,}40$.

В соответствии с примечанием табл. 15 коэффициент неравномерности $F_A = 1$.

Интенсивность нагрузки подсчитываем по формуле

$$P'_п = \frac{R}{C} K_п F F_A = \frac{11}{13} \cdot 1 \cdot 1{,}40 \cdot 1 = 1{,}18 \text{ } т/см.$$

Согласно табл. 12 для интервалов диаметров 180—360 *мм* заданному условию $P'_п = 1{,}18$ *т/см* удовлетворяет тугая подшипниковая посадка $Т_п$.



Фиг. 6. Установка двухрядного конического роликоподшипника.

Пример 3. Требуется выбрать посадку подшипников в тот же ролик (фиг. 6) и при тех же условиях, что в примере 2, но при установке двух подшипников 2007144, для которых угол контакта $\beta=13°$; внутренний диаметр $d=220$ *мм*; наружный диаметр $D=340$ *мм*. Ширина наружного кольца подшипника $C=62$ *мм*.

По табл. 13 получаем $K_п = 1$.

Отношение диаметров $\frac{D}{D_к} = \frac{340}{450} = 0{,}75$;

$$\frac{D}{d} = \frac{340}{220} = 1{,}55$$

По табл. 14 поправочный коэффициент принимаем $F=1{,}40$.

Величина

$$\frac{A \operatorname{ctg} \beta}{R} = \frac{1{,}5}{11} 4{,}331 = 0{,}59.$$

По табл. 15 находим коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки $F_A = 0{,}70$.

Интенсивность нагрузки подсчитываем по формуле

$$P'_п = \frac{R}{C} \cdot K_п F \cdot F_A = \frac{11}{6{,}2} \cdot 1 \cdot 1{,}40 \cdot 0{,}70 =$$

$$= 1{,}74 \text{ } т/см.$$

Согласно табл. 12 для интервалов диаметров 180÷360 *мм* полученному значению $P'_п = 1{,}74$ *т/см* удовлетворяет глухая подшипниковая посадка $Г_п$.

Пример 4. В «плавающей» опоре выходного вала редуктора установлен роликоподшипник 32422, для которого внутренний диаметр подшипника $d=110$ *мм*; наружный диаметр подшипника $D=280$ *мм*; ширина подшипника $b=65$ *мм*. На подшипник действует радиальная нагрузка $R=8$ *т*. Нагрузка с сильными ударами и вибрацией. Перегрузка до 300 %.

Требуется выбрать посадку подшипника на вал сплошного сечения ($d_1 = 0$).

По табл. 13 определяем динамический коэффициент посадки $K_п = 1{,}8$.

По табл. 14 находим поправочный коэффициент $F = 1$.

В соответствии с примечанием табл. 15 коэффициент неравномерности $F_A = 1$.

Интенсивность нагрузки подсчитываем по формуле

$$P_п = \frac{R}{b} \cdot K_п \cdot F \cdot F_A = \frac{8}{6{,}5} \cdot 1{,}8 \cdot 1 \cdot 1 = 2{,}21 \, т/см$$

Согласно табл. 12 для интервалов диаметром 80—180 *мм* заданному условию $P_п = 2{,}21$ *т/см* удовлетворяет тугая подшипниковая посадка $Т_п$.

Чистота и отклонения от геометрической формы посадочных поверхностей

Работоспособность подшипников качения в значительной степени зависит от качества механической обработки сопрягаемых с подшипником деталей. Несоблюдение требований ГОСТ 3325-55 к посадочным поверхностям вала и корпуса может привести к нарушению посадки или недопустимым деформациям колец подшипников, что ведет к преждевременному выходу подшипников из строя.

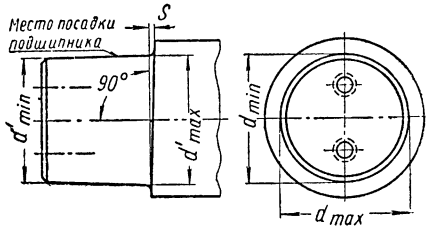
При применении посадок по ГОСТ 3325-55 чистота посадочных поверхностей валов и корпусов, а также их упорных заплечиков должна быть не ниже соответствующих классов чистоты, указанных в табл. 20.

20. Классы чистоты посадочных поверхностей валов и корпусов

Посадочные поверхности	Классы точности шарико- и роликоподшипников	Номинальные диаметры в *мм*	
		до 80	более 80 до 500
		Классы чистоты по ГОСТ 2789-59	
Валов	Н и П В и А С	7 8 9	6 7 8
Отверстий корпусов	Н и П В, А и С	7 8	6 7
Торцов заплечиков валов и корпусов	Н и П В, А и С	6 7	6 6

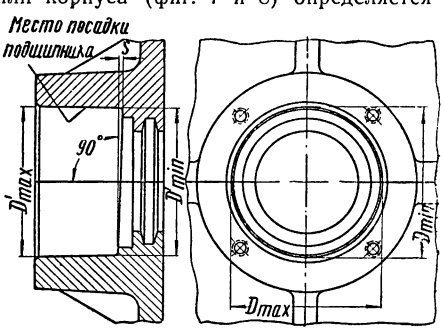
Чистота посадочных поверхностей валов для шарико- и роликоподшипников на закрепительных или закрепительно-стяжных (буксовых) втулках должна быть не ниже 6-го класса по ГОСТ 2789-59.

Правильность геометрических форм посадочных поверхностей имеет большое значение, так как кольца подшипников являются тонкостенными деталями и при посадках с натягом деформируются, принимая форму посадочного места.



Фиг. 7. Отклонения от правильной геометрической формы посадочной шейки вала.

Овальность посадочного места вала или корпуса (фиг. 7 и 8) определяется



Фиг. 8. Отклонения от правильной геометрической формы посадочного гнезда корпуса.

как разность наибольшего и наименьшего диаметров в любом сечении: $d_{max} - d_{min}$ или $D_{max} - D_{min}$.

Конусность посадочной поверхности вала или корпуса определяется как разность диаметров в крайних сечениях посадочного места: $d'_{max} - d'_{min}$ или $D'_{max} - D'_{min}$.

Отклонения посадочных поверхностей валов и корпусов от правильной геометрической формы (по конусности и овальности) не должны превышать величин, указанных в табл. 21. Допустимые величины биения s упорных заплечиков валов и корпусов (фиг. 7 и 8) приведены в табл. 22 и 23.

21. Допускаемые отклонения посадочных поверхностей

Классы точности подшипников и посадки валов		Допускаемые отклонения посадочных мест валов и отверстий корпусов	
		по овальности	по конусности
		не более	
Подшипники	Н, П и В	1/2 допуска на диаметр посадочной поверхности	
	А и С	1/4 допуска на диаметр посадочной поверхности	
Валы	B_3, $B_{3а}$, B_4		

22. Биение заплечиков валов в *мк* по ГОСТ 3325-55

Номинальный диаметр валов в *мм*		Классы точности шарико- и роликоподшипников			
свыше	до	Н и П	В	А	С
—	50	20	10	7	4
50	120	25	12	8	6
120	250	30	15	10	8
250	315	35	17	12	—
315	400	40	20	13	—

23. Биение заплечиков корпусов в *мк* по ГОСТ 3325-55

Номинальный диаметр отверстий в *мм*		Классы точности шарико- и роликоподшипников			
свыше	до	Н и П	В	А	С
—	80	40	20	13	8
80	120	45	22	15	9
120	150	50	25	18	10
150	180	60	30	20	12
180	250	70	35	23	14
250	315	80	40	27	16
315	400	90	45	30	—
400	500	100	50	33	—

Определение наибольшего удельного давления (p *кГ/см*^{2}) на сопрягаемых поверхностях

При напрессовке внутреннего кольца подшипника на стальной вал

$$p = 105\,\frac{\left(1-\frac{d^2}{d_0^2}\right)}{dF}\,\Delta,$$

где Δ — расчетный радиальный посадочный натяг в *мк*; d — внутренний диаметр подшипника в *см*.

При запрессовке наружного кольца подшипника в стальной корпус

$$p = 105\,\frac{\left(1-\frac{D_0^2}{D^2}\right)}{DF}\,\Delta,$$

где D — наружный диаметр подшипника в *см*.

При запрессовке наружного кольца подшипника в чугунный корпус

$$p = 81{,}48\,\frac{\left(1-\frac{D_0^2}{D^2}\right)}{DF_1}\,\Delta,$$

$$F_1 = \frac{1-0{,}223\,\frac{D_0^2}{D^2}+0{,}165\,\frac{D^2}{D_к^2}-0{,}942\left(\frac{D}{D_к}\cdot\frac{D_0}{D}\right)^2}{1-\frac{D^2}{D_к^2}},$$

где F_1 — поправочный коэффициент при $\frac{E_1}{E_2} = 1{,}5$, учитывающий степень ослабления посадочного натяга в тонкостенном чугунном корпусе. $E_1 = (2{,}0 \div 2{,}12) \times 10^6$ *кГ/см*^{2} — модуль упругости стали; $E_2 = (1{,}15 \div 1{,}6) \cdot 10^6$ *кГ/см*^{2} — модуль упругости чугуна (серого, белого и ковкого); F; $\frac{d}{d_0}$; $\frac{D_0}{D}$; $D_к$ — см. стр. 144.

Определение величины натяга посадки

Под действием радиальной нагрузки внутреннее кольцо подшипника подвергается сжатию в радиальном направлении. Это сжатие сопровождается некоторым увеличением диаметра посадочного отверстия кольца и сжатием вала, в результате чего происходит ослабление посадки.

По тем же причинам уменьшается натяг посадки наружного кольца подшипника в корпусе. Требуемая величина натяга зависит в первую очередь от нагрузки, габаритных размеров подшипника и от температурных условий его работы.

При выборе посадки для циркуляционно-нагруженного кольца подшипника

на вал или в корпус с натягами последние можно также определить по одной из формул:

а) на вал

$$\Delta = 14\,\frac{R}{b}F^*\ мк;$$

в корпус

$$\Delta = 30\,\frac{R}{C}F^*\ мк.$$

Для определения натягов, гарантирующих надежность соединения подшипника с валом или вращающимся корпусом, в указанных формулах предусмотрен коэффициент запаса прочности посадки по натягу, равный $K_d = 3 \div 3{,}5$;

б) на вал

$$\Delta = \frac{12 \cdot RF}{(b - 2r)\left(1 - \frac{d^2}{d_0^2}\right)}\ мк;$$

в стальной корпус

$$\Delta = \frac{12 \cdot RF}{(C - 2r)\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right)}\ мк;$$

в чугунный корпус

$$\Delta = \frac{15{,}62 \cdot RF_1}{(C - 2r)\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right)}\ мк;$$

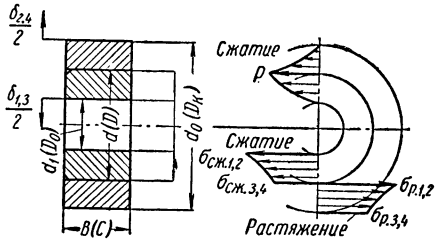
в) на вал

$$\Delta = \frac{7{,}9F(0{,}3 + d)}{d}\sqrt{\frac{d}{b}R}\ мк,$$

где R — наибольшая радиальная нагрузка на подшипник в $т$; b — ширина внутреннего кольца подшипника в $см$; C — ширина наружного кольца подшипника в $см$; r — координаты фаски на внутреннем или наружном кольцах подшипника в $см$; $\frac{d}{d_0}$; $\frac{D_0}{D}$; F — см. стр. 144; Δ и F_1 — см. стр. 148.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ КОЛЕЦ, ВАЛА И КОРПУСА

При установке подшипников на вал или в корпус с натягами (фиг. 9) происходят упругие деформации деталей соединения, которые приводят к уменьшению радиального зазора в подшипниках нерегулируемого типа.



Фиг. 9. Расчетная схема соединения и эпюры тангенциальных и радиальных напряжений

Уменьшение внутреннего диаметра d_1 стального вала в $мк$

$$\delta_1 = \frac{2pd_1 \cdot 10^4}{E_1\left(1 - \frac{d_1^2}{d^2}\right)}.$$

Увеличение диаметра d_0 дорожки качения внутреннего кольца подшипника в $мк$

$$\delta_2 = \frac{2pd^2 \cdot 10^4}{E_1 d_0\left(1 - \frac{d^2}{d_0^2}\right)} = \frac{d\Delta}{d_0 F}.$$

Уменьшение диаметра D_0 беговой дорожки наружного кольца подшипника в $мк$:

стальной корпус

$$\delta_3 = \frac{2pD_0 \cdot 10^4}{E_1\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right)} = \frac{D_0\Delta}{DF};$$

чугунный корпус

$$\delta_3' = \frac{2pD_0 \cdot 10^4}{E_1\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right)} = 0{,}776\,\frac{D_0\Delta}{DF_1}.$$

Увеличение наружного диаметра $D_к$ корпуса в $мк$:

стальной корпус

$$\delta_4 = \frac{2pD^2 \cdot 10^4}{E_1 D_к\left(1 - \frac{D^2}{D_к^2}\right)};$$

чугунный корпус

$$\delta_4' = \frac{2pD^2 \cdot 10^4}{E_2 D_к\left(1 - \frac{D^2}{D_к^2}\right)}.$$

* См. статью Н. Г. Народецкого «К выбору посадок колец подшипников качения», Инженерный сборник Института механики Академии наук СССР, т. III, ч. 2, 1947.

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ДЕТАЛЯХ, ОБРАЗУЮЩИХ СОЕДИНЕНИЕ, в *кГ/см²*

а) напряжения сжатия:

на поверхности стального вала диаметром d_1

$$\sigma_{сж_1} = \frac{2p}{\left(1 - \frac{d_1^2}{d^2}\right)};$$

на поверхности диаметром D_0 наружного кольца подшипника

$$\sigma_{сж_2} = \frac{2p}{\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right)};$$

на посадочной поверхности стального вала диаметром d

$$\sigma_{сж_3} = \frac{p\left(1 + \frac{d_1^2}{d^2}\right)}{\left(1 - \frac{d_1^2}{d^2}\right)};$$

на посадочной поверхности наружного кольца подшипника диаметром D

$$\sigma_{сж_4} = \frac{p\left(1 + \frac{D_0^2}{D^2}\right)}{\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right)};$$

б) напряжения растяжения:

на посадочной поверхности d внутреннего кольца подшипника

$$\sigma_{p_1} = \frac{p\left(1 + \frac{d^2}{d_0^2}\right)}{\left(1 - \frac{d_2}{d_0^2}\right)};$$

на посадочной поверхности D корпуса

$$\sigma_{p_2} = \frac{p\left(1 + \frac{D^2}{D_к^2}\right)}{\left(1 - \frac{D^2}{D_к^2}\right)};$$

на поверхности диаметром d_0 внутреннего кольца подшипника

$$\sigma_{p_3} = \frac{2pd^2}{d_0^2\left(1 - \frac{d^2}{d_0^2}\right)};$$

на поверхности корпуса диаметром $D_к$

$$\sigma_{p_4} = \frac{2pD^2}{D_к^2\left(1 - \frac{D^2}{D_к^2}\right)}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ НАПРЕССОВКИ И СНЯТИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

При определении размеров механического или гидравлического инструмента для напрессовки на вал или в корпус колец подшипников с цилиндрическими и коническими посадочными поверхностями и снятия их необходимо знать усилия, возникающие при выполнении этих операций (без давления масла).

Усилия (в *кГ*) могут быть найдены по следующим формулам:

для напрессовки внутреннего кольца подшипника на цилиндрическую шейку стального вала с натягом или для снятия его с посадочного места

$$\theta_1 = 330\frac{b\Delta f}{F}\left(1 - \frac{d^2}{d_0^2}\right) \text{ при } d_1 = 0,\ F = 1;$$

для напрессовки внутреннего кольца подшипника на коническую шейку стального вала

$$\theta_2 = 330\frac{b\Delta\left(f + \frac{K}{2}\right)}{F}\left(1 - \frac{d_{ср}^2}{d_0^2}\right);$$

для снятия внутреннего кольца подшипника с конической шейки стального вала

$$\theta_3 = 330\frac{b\Delta\left(f - \frac{K}{2}\right)}{F}\left(1 - \frac{d_{ср}^2}{d_0^2}\right);$$

для напрессовки наружного кольца подшипника в стальной корпус с натягом или для снятия его с посадочного места

$$\theta_4 = 330\frac{c\Delta f}{F}\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right) \text{ При } D_к = \infty,\ F = 1$$

для напрессовки наружного кольца подшипника в чугунный корпус с натягом или для снятия его с посадочного места

$$\theta_5 = 256\frac{c\Delta f}{F_1}\left(1 - \frac{D_0^2}{D^2}\right).$$

Здесь b — ширина внутреннего кольца подшипника в *см*; f — коэффициент трения, равный: при напрессовке кольца на посадочное место (сопрягаемые поверхности смазаны) 0,10÷ 0,15; при снятии кольца с посадочного места — 0,15÷0,25; $K = \frac{1}{12}$ — конусность сопрягаемых поверхностей; $d_{ср}$ — средний диаметр конического отверстия внутреннего кольца подшипника; C — ширина наружного кольца в *см*; d_0; $\frac{d}{d_0}$; $\frac{D_0}{D}$; F — см. стр. 144; Δ, F_1 — см. стр. 148.

ВНУТРЕННИЕ ЗАЗОРЫ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Основные положения

Наличие внутренних начальных зазоров в радиальных шарико- и роликоподшипниках нерегулируемого типа позволяет наружному кольцу подшипника иметь некоторое смещение относительно внутреннего.

Различают следующие виды внутренних зазоров между рабочими элементами подшипника:

радиальный зазор e — величина радиального перемещения (перпендикулярно оси посадочного отверстия) одного кольца подшипника относительно другого под определенной нагрузкой или без нее (фиг. 10)

осевая игра s — величина полного осевого перемещения (вдоль оси посадочного отверстия) в обоих направлениях одного кольца подшипника относительно другого под определенной нагрузкой или без нее (фиг. 11).

Радиальные зазоры подшипника подразделяются на следующие:

начальный $e_н$, измеряемый в подшипнике до установки его на вал или в корпус;

контрольный c', измеряемый в собранном подшипнике под нагрузкой 2,5, 10 или 15 *кГ*;

посадочный $e_п$, измеряемый в подшипнике, смонтированном на валу и в корпусе;

рабочий $e_р$, существующий в работающем подшипнике при заданной температуре и нагрузке.

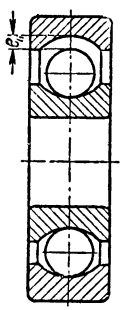
Для осевой игры пользуются аналогичным подразделением.

В зависимости от условий монтажа и нагружения подшипника величина рабочего радиального зазора определяется по формуле

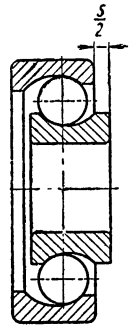
$$e_р = e_н - \delta_2 - K_t + \delta_0,$$

где δ_2 — уменьшение зазора вследствие увеличения дорожки качения внутреннего кольца подшипника при установке его с натягом на вал (или аналогично δ_3 — уменьшение диаметра дорожки качения наружного кольца подшипника при установке его с натягом в корпус); $K_t = \alpha \cdot d_0 \Delta t$ — уменьшение зазора от разности температуры в подшипнике; α — коэффициент линейного температурного расширения для закаленной стали можно принимать $\alpha = 11{,}7 \cdot 10^{-6}$; d_0 — приведенный диаметр дорожки качения внутреннего кольца в *мм*; Δt — разность температур колец в °С. В нормальных эксплуатационных условиях внутреннее кольцо подшипника примерно на 5—10° теплее наружного: $\delta_0 = \delta_в + \delta_н$ — увеличение посадочного зазора вследствие наличия контактных деформаций между телами качения и рабочими поверхностями качения внутреннего и наружного колец.

При идеальных рабочих условиях $e_р = 0$ и $e_п = K_t - \delta_0$.



Фиг. 10. Начальный радиальный зазор в радиальном однорядном шарикоподшипнике.



Фиг. 11. Начальная осевая игра в радиальном однорядном шарикоподшипнике.

Зависимости между осевой игрой и начальным радиальным зазором в подшипниках нерегулируемого типа

1. Однорядный радиальный шарикоподшипник (фиг. 10 и 11)

$$s = e_н \sqrt{\frac{4d_ш}{e_н}(2x - 1) - 1}.$$

Здесь $x = \frac{r_{ж}}{d_ш}$, $d_ш$ — диаметр шарика;

$r_{ж}$ — радиус желоба колец.

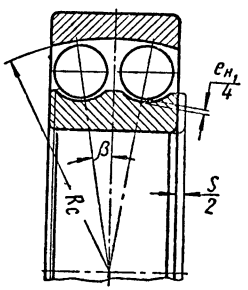
2. Двухрядный радиальный сферический шарикоподшипник (фиг. 12)

$$s = \sqrt{m^2 + m\frac{e_{н_1}}{\sin\beta} + \frac{e_{н_1}^2}{4}} + \sqrt{4B^2\sin^2\beta + 2Be_{н_1} + \frac{e_{н_1}^2}{4}} - m + 2B\sin\beta.$$

Здесь

$$m = 2\sin\beta\left(R_c - \frac{e_{н_1}}{4} - \frac{d_ш}{2}\right);$$

$$B = r_{ж} - \frac{e_{н_1}}{4} - \frac{d_ш}{2}.$$



Фиг. 12. Начальная осевая игра в двухрядном радиальном сферическом шарикоподшипнике.

3. Двухрядный радиальный сферический роликоподшипник (фиг. 13)

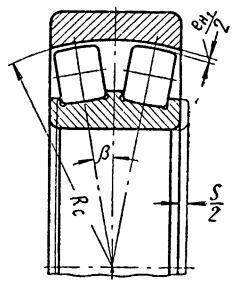
$$s = 2e_{н_1}\cos\beta\sqrt{\frac{R_c^2}{e_{н_1}^2}\operatorname{tg}^2\beta + \frac{R_c}{e_{н_1}} - \frac{1}{4}} - 2e_{н_1}\sin\beta\left(\frac{R_c}{e_{н_1}} - \frac{1}{2}\right).$$

4. Двухрядный конический роликоподшипник

$$s = \frac{e_{н_1}}{\sin\beta} = e_н\operatorname{ctg}\beta,$$

где β — угол контакта.

В формулах $e_{н_1}$ принята за величину начального радиального зазора в подшипнике по линии давления без приложения к нему измерительной нагрузки.

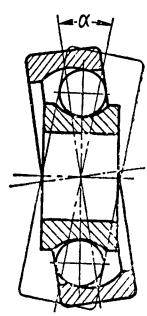


Фиг. 13. Начальная осевая игра в двухрядном радиальном сферическом роликоподшипнике.

$$e_{н_1} = e_н\cos\beta$$

Зависимость углового смещения кольца от величины посадочного радиального зазора в однорядных шарикоподшипниках

Угловым смещением называется величина угла поворота $\pm\alpha$ в ту и другую сторону одного кольца подшипника относительно другого (фиг. 14).



Фиг. 14. Угол поворота одного кольца шарикоподшипника относительно другого.

Угловое смещение характеризует способность подшипника самоустанавливаться при несовпадении осей посадочной шейки вала и гнезда корпуса после монтажа.

$$\cos\alpha = \frac{\left(\frac{D_н}{2} - r_{ж}\right)^2 + \left(\frac{D_н}{2} - \frac{e_п}{2} - d_ш + r_{ж}\right)^2 - 4\left(r_{ж} - \frac{d_ш}{2}\right)^2}{\left(\frac{D_н}{2} - r_{ж}\right)\left(\frac{D_н}{2} - \frac{e_п}{2} - d_ш + r_{ж}\right)},$$

где $D_н$ — максимальный диаметр дорожки качения наружного кольца.

Начальные и посадочные зазоры

Начальные радиальные (осевые) зазоры в шарико- и роликоподшипниках выбраны такими, чтобы в нормальных условиях эксплуатации величина рабочего радиального зазора в них была достаточной при установке одного из колец подшипника на вал (в корпус) с. натягами неподвижных посадок и перепаде температур 5—10° между наружным и внутренним кольцами.

В особых условиях эксплуатации требуется применение подшипников со специальной величиной начальных радиальных зазоров.

В тех случаях, когда радиальное и осевое перемещение вала в узле должно быть минимальным или наружное кольцо нагревается больше внутреннего, требуются подшипники с минимальными начальными радиальными зазорами или даже с преднатягом.

Значительно чаще возникает необходимость в подшипниках, у которых начальные радиальные зазоры должны быть увеличены. Такие подшипники применяют в тяжелых условиях эксплуатации, когда оба кольца подшипника (или одно) монтируются на шейку вала и в корпус со значительными натягами или тепло распределяется в подшипнике во время работы так, что внутреннее кольцо расширяется значительно больше, чем наружное.

Влияние высокой наружной температуры может быть исключено применением водяного или воздушного охлаждения или специального охлаждения из асбестового листа вокруг корпуса подшипника.

Требуемое при монтаже уменьшение начального радиального зазора в двухрядных сферических роликоподшипниках с коническим отверстием (работающих при нормальных режимах) и необходимая для этого величина осевого перемещения указаны в табл. 6 гл. VIII.

Осевую игру шарико- и роликоподшипников регулируемого типа устанавливают при сборке узлов или во время эксплуатации перемещением одного из колец подшипника по отношению к другому.

Величина необходимой осевой игры зависит от габаритных размеров подшипника, расстояния между опорами вала, режима работы узла, пределов колебания рабочей температуры узла и т. д.

В зависимости от конструкции подшипникового узла допускаемые величины осевой игры радиально-упорных шарикоподшипников и конических роликоподшипников (табл. 24—25) подразделяются на два ряда: ряд 1 и 2.

Величина осевой игры ряда 1 распространяется на подшипники, установленные по две штуки в одной опоре. Величина осевой игры ряда 2 распространяется на подшипники, установленные по одному в каждой опоре.

В табл. 24—26 приведены величины осевой игры для стандартных радиально-упорных шариковых, конических роликовых и упорных шариковых подшипников класса точности Н по ГОСТ 520-55, работающих в нормальных условиях эксплуатации.

24. Величина осевой игры для радиально-упорных шарикоподшипников при монтаже их без предварительного натяга в *мк*

Внутренний диаметр d подшипников в *мм*		Допускаемые пределы осевой игры для радиально-упорных шарикоподшипников						Расчетное расстояние между подшипниками при установке по схеме фиг. 15 (приблизительные величины)
		по ГОСТ 831-54 с углом контакта 12°				по ГОСТ 831-54 с углом контакта 26°—36°		
		Ряд 1		Ряд 2		Ряд 1		
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	
10	30	20	40	30	50	10	20	$8d$
30	50	30	50	40	70	15	30	$6d$
50	80	40	70	50	100	20	40	$4d$
80	120	50	100	60	150	30	50	$3d$
120	180	80	150	100	200	40	70	$3d$
180	260	120	200	150	250	50	100	$3d$

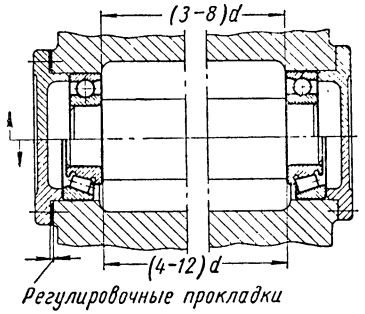
Величина осевой игры подшипников (вала) в узле может быть определена расчетным путем:

а) для однорядных роликоподшипников с коническими роликами, установленных по схеме фиг. 15,

$$s = \alpha(l\Delta t + D_1\Delta t_1 \operatorname{ctg}\beta_1 + D_2\Delta t_2 \operatorname{ctg}\beta_2)\ мм.$$

Здесь $\alpha = 11{,}7 \cdot 10^{-6}$ — коэффициент линейного температурного расширения

стали; l — расстояние между опорами вала; $\Delta t = 20°\,C$ — разность температур нагрева вала и корпуса; D_1 и D_2 — средние диаметры дорожек качения внутренних колец подшипников обеих опор; Δt_1 и Δt_2 — разность температур нагрева колец подшипников в обеих опорах; β_1 и β_2 — углы контакта роликов с кольцами подшипников.



Фиг. 15. Установка радиально-упорных подшипников с регулировкой осевой игры через наружные кольца.

Применение в опорах вала одинаковых подшипников при $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 10°\,C$ несколько упрощает формулу, так как $D_1 \approx D_2$; $\beta_1 = \beta_2$ и она примет вид:

$$s = 20\alpha D_1 \left(\frac{l}{D_1} + \operatorname{ctg} \beta_1 \right).$$

Величины осевой игры определены по этой формуле и даны в табл. 25;

б) для шарикоподшипников упорных двойных или сдвоенных одинарных (фиг. 16)

$$s = 2A(1 - \cos \beta),$$

где

$$A = r_{ж} - \frac{d_{ш}}{2};$$

$r_{ж}$ — радиус желоба на кольцах упорных шарикоподшипников.

При этом угол контакта может быть выражен следующей зависимостью:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{K^2}{A^2}}.$$

Здесь K — величина допустимого смещения шариков под действием центробежных сил в гнездах сепараторов.

Тогда формула примет вид

$$s = 2A \left(1 - \sqrt{1 - \frac{K^2}{A^2}} \right).$$

25. Величина осевой игры конических роликоподшипников при монтаже их без предварительного натяга в *мк*

Внутренний диаметр подшипников d в *мм*		Допускаемые пределы осевой игры для конических роликоподшипников						Примерное расчетное расстояние между подшипниками при установке по схеме фиг. 15
		по ГОСТ 333-55 с углом контакта 10°—16°				По ГОСТ 7260-54 с углом контакта 25°—29°		
		Ряд 1		Ряд 2		Ряд 1		
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	
10	30	20	40	40	70	—	—	$12d$
30	50	40	70	50	100	20	40	$8d$
50	80	50	100	80	150	30	50	$7d$
80	120	80	150	120	200	40	70	$6d$
120	180	120	200	200	300	50	100	$6d$
180	260	160	250	250	350	80	150	$4d$
260	360	200	300	—	—	—	—	—
360	400	250	350	—	—	—	—	—

Правильный выбор величины начального радиального зазора имеет большое значение для нормальной работы подшипника и узла машины в целом.

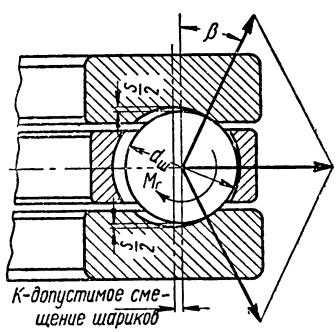


Рис. 16. Расчетная схема для определения осевой игры в ненагруженном (внешней осевой нагрузкой) подшипнике.

В связи с этим шарико- и роликоподшипники со специальными радиальными зазорами следует применять в узлах машин и механизмов только после согласования с ЦКБ подшипниковой промышленности.

В табл. 27—33 приведены внутренние зазоры в стандартных шарико- и роликоподшипниках, изготовляемых по ГОСТ 520-55.

26. Величина осевой игры для упорных шарикоподшипников в *мк*

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Допускаемые пределы осевой игры для двойных и сдвоенных упорных шарикоподшипников по ГОСТ 7872-56 и 6874-54 Серии 8100, 8200, 8300 и 8400	
		Ряд 1	
Свыше	до	наим.	наиб.
10	50	20	40
50	120	30	50
120	400	40	60

Величины нагрузок, по которым контролируется зазор, действуют попеременно в обе стороны.

Радиальные зазоры по основному ряду, а также по дополнительным рядам 7 и 8 (табл. 27) применяются в подшипниках всех классов точности.

Радиальный зазор по дополнительным рядам 0,1 и 2 (табл. 28) применяется только для подшипников классов точности не ниже В, а по дополнительным рядам 3, 4 и 6 (табл. 27, 28) — не ниже класса точности П по ГОСТ 520-55 в особо необходимых случаях по согласованию с ЦКБ ПП.

Ряды радиальных зазоров, указанные в табл. 27, 28, на подшипники сверхлегкой серии диаметров 8 не распространяются.

Для сверхлегких серий, серий диаметров 9, а также нестандартных, но близких к этим сериям, величина нагрузки, под которой контролируется радиальный зазор, должна равняться 2 *кГ* для подшипников с внутренним диаметром до 100 *мм* и 5 *кГ* свыше 100 *мм* (величины нагрузок уточняются заводом-изготовителем).

Радиальный зазор, измеряемый под нагрузкой, определяется по формулам:

$$e_2 = e_н + \frac{0{,}019}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}}; \quad e_5 = e_н + \frac{0{,}034}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}};$$

$$e_{10} = e_н + \frac{0{,}055}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}}; \quad e_{15} = e_н + \frac{0{,}071}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}}$$

Здесь $e_н$ — начальный радиальный зазор (без нагрузки) в *мм*: e_2; e_5; e_{10}: e_{15} — радиальные зазоры в *мм* при нагрузках ± 2; ± 5; ± 10 и ± 15 *кГ*; z — число шариков в подшипнике; $d_ш$ — диаметр шарика в *мм*.

27. Радиальный зазор в радиальных однорядных шарикоподшипниках в *мк*

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Дополнительный ряд		Основной ряд		Дополнительные ряды				Величина нагрузок в *кГ*, под которыми контролируется зазор
		6		—		7		8		
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	
2,5	10	3	10	5	16	11	25	—	—	2
10	18	5	14	8	22	16	30	28	38	5
18	24	5	15	10	24	18	33	25	41	
24	30	5	16	10	24	18	33	28	46	
30	40	5	16	12	26	21	39	33	51	10
40	50	5	16	12	29	24	42	35	56	
50	65	8	20	13	33	28	48	43	66	
65	80	9	21	16	36	30	56	52	77	15
80	100	9	24	18	42	35	63	59	90	
100	120	8	25	20	46	41	71	66	102	
120	140	8	28	23	53	46	86	76	119	
140	160	8	28	23	58	51	96	86	135	
160	180	8	30	24	65	57	106	96	152	
180	200	8	35	29	75	67	121	112	168	
200	225	8	35	33	83	75	130	120	180	
225	250	8	40	35	90	85	145	135	200	
250	280	8	40	40	100	95	160	150	220	
280	315	10	45	45	105	100	165	180	230	
315	355	10	50	50	115	105	175	170	245	
355	400	10	55	55	125	110	185	160	260	

28. Радиальный зазор в радиальных однорядных шарикоподшипниках в *мк*

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Дополнительные ряды										Величина нагрузок в *кГ*, под которыми контролируется зазор
		1		0		2		3		4		
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	
3	6	1	5	5	10	10	15	15	22	20	28	2
6	10	2	6	6	12	12	18	18	26	25	35	
10	18	3	8	8	15	15	22	22	30	30	40	5
18	30	3	8	8	15	15	24	24	34	40	50	
30	50	3	10	10	20	20	32	32	47	55	70	10
50	80	3	11	11	23	23	38	38	58	75	95	
80	100	3	11	11	27	27	48	48	73	90	115	

29. Начальный радиальный зазор в радиальных однорядных взаимозаменяемых роликоподшипниках с короткими цилиндрическими роликами и отверстием в *мк*

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Дополнительные ряды									
		1		6		2		3		4	
св.	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.
14	30	0	30	15	45	30	60	45	75	60	90
30	40	0	35	20	55	40	75	45	80	80	115
40	50	5	40	20	55	40	75	60	95	80	115
50	65	5	45	25	65	50	90	70	110	100	140
65	80	5	55	30	70	60	100	80	120	120	160
80	100	10	60	35	80	70	115	90	135	140	185
100	120	10	65	40	90	80	130	100	150	160	210
120	140	10	75	45	100	90	145	115	170	180	235
140	160	15	80	50	115	100	165	130	195	205	270
160	180	20	85	60	125	110	175	145	210	230	295
180	200	25	95	65	135	125	195	160	230	260	330
200	225	30	105	75	150	140	215	180	255	290	365
225	250	40	115	90	165	155	230	200	275	320	395
250	280	45	125	100	180	175	255	225	305	350	430
280	315	50	135	110	195	195	280	250	335	400	485
315	355	55	145	125	215	215	305	280	370	450	540
355	400	65	160	140	235	245	340	320	415	500	595
400	450	70	170	160	260	260	360	360	460	550	650
450	500	80	190	180	290	280	390	410	520	630	740
500	560	90	220	200	330	310	440	460	590	710	840
560	630	100	240	220	360	340	480	510	650	790	930
630	710	110	260	240	390	370	520	560	710	870	1020
710	800	120	280	260	420	410	570	610	770	950	1110
800	900	130	300	280	450	450	620	660	830	1030	1200
900	1000	140	320	300	480	490	670	720	900	1120	1300
1000	1100	150	350	320	520	540	740	790	990	1220	1420
1100	1250	160	380	340	560	590	810	860	1080	1320	1540

Примечания: 1. В данной таблице нормальные величины радиального зазора выбираются по 6-му ряду.
2. Начальный радиальный зазор определяется без нагрузки.

30. Начальный радиальный зазор в радиальных однорядных невзаимозаменяемых роликоподшипниках с короткими цилиндрическими роликами, в отверстием в *мк*

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Дополнительный ряд		Основной ряд		Дополнительные ряды					
		5		—		7		8		9	
св.	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.
14	20	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
20	30	15	25	25	35	40	50	50	60	70	80
30	40	15	30	30	45	45	60	60	75	80	95
40	50	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110
50	65	15	35	35	55	55	75	75	95	110	130
65	80	20	40	40	60	70	90	90	110	130	150
80	100	25	45	45	85	85	105	105	125	150	170
100	120	25	50	50	75	95	120	120	145	180	205
120	140	30	60	60	90	105	135	135	165	200	230
140	160	35	70	70	105	115	150	150	185	225	260
160	180	35	75	75	115	125	165	165	205	250	290
180	200	40	80	80	120	140	180	180	220	275	315
200	225	45	90	90	135	165	200	200	245	305	350
225	250	50	100	100	150	170	220	220	270	330	380
250	280	55	110	110	165	185	240	240	295	370	420
280	315	60	120	120	180	205	265	265	325	410	470
315	355	65	135	135	205	225	295	295	365	455	525
355	400	75	150	150	225	255	330	330	405	510	585
400	450	85	165	165	245	270	350	350	460	570	650
450	500	95	185	185	275	290	380	430	520	650	740
500	560	105	205	205	305	320	420	480	580	730	830
560	630	115	225	225	335	350	460	530	640	810	920
630	710	125	245	245	365	380	500	580	700	890	1010
710	800	135	265	265	395	420	550	630	760	970	1100
800	900	145	285	285	425	460	600	680	820	1050	1190
900	1000	155	305	305	455	500	650	740	890	1140	1290
1000	1100	165	325	325	485	550	710	810	970	1240	1400
1100	1250	175	345	345	515	600	770	880	1050	1340	1510

Примечания: 1. Разрешение на применение подшипников с радиальным зазором, соответствующим дополнительным рядам 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 и 9, выдается ЦКБПП (табл. 29—30).
2. Начальный радиальный зазор определяется без нагрузки.

31. Начальный радиальный зазор[1] в *мк* в радиальных двухрядных сферических роликоподшипниках с цилиндрическим отверстием

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Основной ряд		Дополнительные ряды					
		—		1		2		3	
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.
14	24	20	30	30	40	40	55	55	70
24	30	25	35	35	45	45	60	60	80
30	40	25	40	40	55	55	75	75	95
40	50	30	45	45	60	60	80	80	110
50	65	30	50	50	70	70	90	90	120
65	80	40	60	60	80	80	110	110	150
80	100	45	70	70	100	100	130	130	170
100	120	50	80	80	110	110	150	150	200
120	140	60	90	90	120	120	170	170	230
140	160	65	100	100	140	140	190	190	260
160	180	70	110	110	150	150	210	210	280
180	200	80	120	120	170	170	230	230	310
200	225	90	140	140	190	190	260	260	340
225	250	100	150	150	210	210	290	290	380
250	280	110	170	170	230	230	320	320	420
280	315	120	180	180	250	250	350	350	460
315	355	140	210	210	280	280	390	390	510
355	400	150	230	230	310	310	440	440	580
400	450	170	260	260	350	350	490	490	650
450	500	190	290	290	390	390	540	540	720
500	560	210	320	320	430	430	590	590	790
560	630	230	350	350	480	480	660	660	880
630	710	260	400	400	540	540	740	740	990
710	800	290	450	450	610	610	830	830	1100
800	900	330	500	500	670	670	920	920	1240

[1] Начальный радиальный зазор определяется без нагрузки.

Величины начальной осевой игры в конических двухрядных роликоподшипниках (табл. 33), предусмотренных ГОСТ 6364-52, подразделяют в зависимости от температурных условий их работы на два ряда: нормальный и дополнительный.

Первый из них предусмотрен для подшипников, работающих в нормальных условиях, при которых температура внутреннего кольца может превышать температуру наружного кольца не более чем на 10° С.

Дополнительный ряд начальной осевой игры предусмотрен для подшипников:

а) работающих в тяжелых условиях нагружения, когда оба кольца подшипника должны устанавливаться в узел с бо́льшими натягами, чем натяги посадок: тугая подшипниковая для вала и плотная подшипниковая для корпуса;

б) работающих при интенсивном нагреве шейки вала внешним источником тепла и принудительном охлаждении корпуса.

Применение подшипников с начальной осевой игрой, соответствующей дополнительному ряду, рекомендуется производить только после согласования с ЦКБПП.

При монтаже такие подшипники не требуют регулировки и могут жестко закрепляться как на валу, так и в корпусе, в осевом направлении.

Увеличенные зазоры в процессе эксплуатации двухрядных роликоподшипников могут быть уменьшены перешлифовкой дистанционных колец.

32. Начальный радиальный зазор[1] в *мк* в радиальных двухрядных сферических роликоподшипниках с коническим отверстием

Внутренний диаметр подшипников *d* в *мм*		Основной ряд		Дополнительные ряды					
		—		1		2		3	
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.
14	24	30	40	40	55	55	70	70	90
24	30	35	45	45	60	60	80	80	100
30	40	40	55	55	75	75	95	95	120
40	50	45	60	60	80	80	110	110	140
50	65	50	70	70	90	90	120	120	160
65	80	60	80	80	110	110	150	150	190
80	100	70	100	100	130	130	170	170	220
100	120	80	110	110	150	150	200	200	260
120	140	90	120	120	170	170	230	230	300
140	160	100	140	140	190	190	260	260	340
160	180	110	150	150	210	210	280	280	370
180	200	120	170	170	230	230	310	310	410
200	225	140	190	190	260	260	340	340	450
225	250	150	210	210	290	290	380	380	500
250	280	170	230	230	320	320	420	420	550
280	315	180	250	250	350	350	460	460	610
315	355	210	280	280	390	390	510	510	680
355	400	230	310	310	440	440	580	580	770
400	450	260	350	350	490	490	650	650	850
450	500	290	390	390	540	540	720	720	950
500	560	320	430	430	590	590	790	790	1050
560	630	350	480	480	660	660	880	880	1170
630	710	400	540	540	740	740	990	990	1310
710	800	450	610	610	830	830	1100	1100	1460
800	900	500	670	670	920	920	1240	1240	1650

[1] Начальный радиальный зазор определяется без нагрузки.

33. Начальная осевая игра в конических двухрядных роликоподшипниках в *мк*

Интервалы диаметров отверстия в *мм*		Нормальный ряд				Дополнительный ряд			
		Углы контактов роликов по наружному кольцу в градусах							
		9 ÷ 13		Св. 13 ÷ 17		9 ÷ 13		Св. 13 ÷ 17	
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.
—	80	200	300	150	250	400	500	300	400
80	120	300	400	200	300	500	700	400	500
120	180	400	500	300	400	700	900	500	700
180	260	500	650	350	500	900	1200	700	950
260	360	650	850	450	600	1200	1500	900	1200
360	500	850	1000	500	700	—	—	—	—
500	630	950	1200	650	900	—	—	—	—
630	800	1200	1500	800	1050	—	—	—	—
800	1000	1500	1800	1000	1300	—	—	—	—

Глава V

СМАЗКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Основным назначением смазки в подшипниках качения является:

1. Уменьшение трения скольжения, возникающего между телами качения и кольцами на контактных площадках в процессе качения под нагрузкой; трения между телами качения и гнездами сепаратора; трения между бортами колец и направляющими поверхностями массивного сепаратора.

2. Защита рабочих поверхностей подшипника от коррозии.

3. Распределение и отвод тепла, возникающего при работе подшипника.

4. Заполнение зазоров в уплотнениях и защита подшипника от загрязнения.

5. Уменьшение шума при работе подшипника.

При недобрскачественной смазке или при неправильной подаче ее к подшипнику срок службы последнего резко сокращается.

Подшипниковые смазки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) обладать химической и физической стабильностью;

2) не содержать механических примесей;

3) не содержать вредных для подшипников химических примесей (кислот, смол);

4) обеспечивать, без затраты заметного количества энергии, покрытие рабочих поверхностей подшипника пленкой, выдерживающей значительные удельные давления и устраняющей сухое трение.

Все виды смазок могут быть разбиты на три группы:

жидкие минеральные масла различной вязкости соответственно требуемым условиям эксплуатации:

консистентные (густые) смазки, представляющие собой смесь минерального масла (75—95%) с щелочными мылами;

твердые смазки, представляющие собой порошок коллоидного графита или двухсернистого молибдена и применяемые только при повышенных рабочих температурах для специальных условий работы.

Наиболее распространены при обычных условиях нагрузок и скоростей консистентные смазки следующих типов: кальциевые, натриевые, кальциево-натриевые (комбинированные) и литиевые.

Кальциевые смазки (солидолы) нерастворимы в воде и имеют температуру плавления не более 90°. Эти смазки применяют при рабочей температуре подшипника, не превышающей 60°.

Натриевые смазки (конталины) более тугоплавки. Температуры плавления их различны и, в зависимости от сорта, доходят до 300°. Они очень чувствительны к влаге, от действия которой разлагаются, причем освободившиеся свободные жирные кислоты быстро вызывают коррозию подшипника. Поэтому натриевые смазки должны применяться только при работе подшипника в сухих помещениях.

Натриево-кальциевые смазки (1—13 по ГОСТ 1631—42, ОКБ-122) имеют однородную неволокнистую структуру, свойственную кальциевым смазкам, и хорошую стабильность, свойственную натриевым смазкам. Наличие натриевых мыл придает смазке более высокую температуру плавления по сравнению с солидолами, изготовленными на чисто кальциевых мылах. Поэтому можно иногда применять их при температурах до 120°. В то же время наличие в смазке кальциевых мыл делает их менее чувствительными к влаге по сравнению с чисто натриевыми смазками и допускает применение в условиях небольшой влажности.

Из жидких минеральных масел для смазки подшипников качения применяются индустриальные 12 и 20, веретенные, турбинные и автолы, а для тяжелонагруженных тихоходных подшипников — цилиндровые и другие масла повышенной вязкости (табл. 1, 2).

1. Минеральные масла, применяемые для смазки подшипников качения

Наименование и марка масла	ГОСТ	Вязкость при 50°С		Кислотное число в *мг* КОН на 1 *г* масла не более	Зольность в % не более	Температура в °С		Применение
		кинематическая в *сст*	условная в градусах Энглера			вспышки	застывания	
Велосит Л	1840-51	4,0—5,1	1,29—1,40	0,04	0,005	112	—25	Опоры веретен и быстроходных приборов
Вазелиновое Т	1840-51	5,1—8,5	1,40—1,72	0,04	0,005	125	—20	Особо быстроходные шпиндели и электродвигатели
Сепараторное Л	176-50	6,1—10,0	1,48—1,86	0,35	Нет	135	+5	Центрифуги и сепараторы
Приборное МВП	1805-51	6,3—8,5	1,51—1,72	0,14	0,005	120	—60	Гироскопы; приборы, работающие при низких температурах
Индустриальное 12 (веретенное 2)	1707-51	10—14	1,86—2,26	0,14	0,007	165	—30	Высокоскоростные шпиндели, веретена и электродвигатели
Индустриальное 20 (веретенное 3)	1707-51	17—23	2,60—3,31	0,14	0,007	170	—20	Станки, вентиляторы, обувные машины
Сепараторное Т	176-50	14,0—17,0	2,26—2,6	0,35	Нет	165	+5	Центрифуги и сепараторы
Индустриальное 30 (машинное Л)	1707-51	27—33	3,81—4,59	0,2	0,007	180	—15	Токарные и фрезерные станки; ткацкие станки
Индустриальное 45 (машинное С)	1707-51	38—52	5,24—7,07	0,35	0,007	190	—10	Насосы, двигатели, компрессоры
Индустриальное 50 (машинное СУ)	1707-51	42—58	5,76—7,86	0,15	0,005	200	—20	Машины с большими нагрузками, но тихоходные
Цилиндровое легкое 11 (цилиндровое 2)	1841-51	9—13	1,76—2,15	0,3	0,03	215	+5	Червячные передачи, тихоходные опоры
Цилиндровое легкое 24 (вискозин)	1841-51	20—28	2,95—3,95	Нет	0,05	240	—	Зубчатые передачи со смазкой разбрызгиванием

Продолжение табл. 1

Наименование и марка масла		ГОСТ	Вязкость при 50°С		Кислотное число в мг КОН на 1 г масла не более	Зольность в % не более	Температура в °С		Применение
			кинематическая в *сст*	условная в градусах Энглера			вспышки	застывания	
Авиационные смазки	МС-14	1013-49	14 (при 100°С	6,55 (при 100°С)	0,25	0,003	200	—30	Смазка авиационных двигателей и тяжело нагруженных быстроходных подшипников
	МС-20	1013-49	20 (при 100°)	7,85 (при 100°С)	0,05	0,003	225	—18	
	МК-22	1013-49	22 (при 100°С)	8,75 (при 100°С)	0,1	0,004	230	—14	
	МС-24	1013-49	24 (при 100°С)	8 (при 100°С)	0,05	0,003	240	—17	
	МК-8	Из доссорских нефтей	8,3	30 (при 20°С)	0,04	0,005	135	—55	
Масла трансмиссионные автотракторные	Зимнее	542-50	—	2,7—3,2 (при 100°С)	Нет	0,05	170	—20	Автотракторные трансмиссии в зимнее время
	Летнее	542-50	—	4,0—4,3 (при 100°С)	Нет	0,05	180	—5	Автотракторные коробки и дифференциалы
Масла трансмиссионные автомобильные	Трансмиссионное	3781-53	20,5—32,24	3,0—4,5	Нет	0,15	165	—20	Автотракторные трансмиссии
	Для коробок передач	4002-53	20,5—32,41	3,0—4,5	Нет	0,10	—	—20	Для смазки коробки передач и рулевого управления
Турбинные масла	Турбинное 22 (турбинное Л)	32-53	20—23		Нет	0,005	180	—15	Смазка тяжело нагруженных подшипников паровых и водяных турбин и турбогенераторов
	Турбинное 30 (УТ)	32-53	28—32		Нет	0,005	180	—10	
	Турбинное 46 (Т)	32-53	44—48		Нет	0,020	195	—10	
	Турбинное 57 (редукторное)	32-53	55—59		Нет	0,040	195	—	

2. Консистентные смазки для подшипников качения

Наименование и марка смазки		ГОСТ или ТУ	Температура каплепадения в °С не ниже	Пенетрация при 25°С	Испытание на коррозию	Вода в %	Механические примеси в %	Применение
Солидол синтетический	$УС_с$-1	4366-56	70	330—360	Выдерживает	3	0,5	Станки, подъемно-транспортные машины; оборудование, работающее под открытым небом
	$УС_с$-2	4366-56	75	270—330		4	0,6	
	$УС_с$-3	4366-56	85	220—270		4	0,6	
Солидол жировой	Пресс (УС-1)	1033-51	75	330—335		1,5	0,3	
	Л (УС-2)	1033-51	75	230—290		2	0,4	
	Т (УС-3)	1033-51	90	150—220		3	0,6	
Конталин синтетический	$УТ_с$-1	5703-51	130	225—275		0,5	4	Узлы тракторов, недоступные для попадания воды: колеса трамваев и троллейбусов
	$УТ_с$-2	5703-51	150	175—225		0,5	4	
Конталин жировой	УТ-1	1957-52	130	225—275		0,5	4	
	УТ-2	1957-52	150	175—225		0,5	4,5	
Низкотемпературные смазки	ЦИАТИМ-201	6267-52	170	270—320		Отсутствует	Нет	Подшипники авиационных приборов, высокоскоростные подшипники
	ЦИАТИМ-202	ТУ 517-54	170	260—320		»	»	
	ЦИАТИМ-203	ТУ 340-50	145	235—300		»	»	
Высокотемпературные смазки	Смазка 1-13	1631-52	120	250—290		0,75	Нет	Роликоподшипники ж.-д. букс, электродвигатели
	Смазка АТЭ	ТУ 424-54	140	175—225		0,2	Зольность 5,0	
	Смазка НК-50	5573-50	200	170—225		0,3	Зольность 7,0	

Специальные виды теплостойких смазок применяются обычно при температурах выше +200°. При температурах среды, окружающей подшипниковый узел, порядка 200—400° может быть использован в качестве смазочного материала коллоидный порошок графита или порошок двухсернистого молибдена MoS_2.

Двухсернистый молибден создает на поверхностях трения пленку, облегчающую пластическую деформацию поверхностных неровностей под давлением, исключая при этом фактическое соприкасание металлических поверхностей. Постепенное расслоение молекул MoS_2 под действием касательных сил дает эффект, аналогичный скольжению микрокристалликов графита по плоскостям их спайки, что обеспечивает общеизвестный эффект «сухой смазки».

Наряду с MoS_2 за границей используется при несколько меньших температурных пределах спиртовая паста «Моликот» («Molykote»), порошок молибдена (в лаборатории проф. Дитриха в Фрейберге, ГДР), коллоидальные суспензии MoS_2 в масле и спирте, примеси порошка MoS_2 в консистентной смазке.

Порошок MoS_2 ни при каких обстоятельствах не может конкурировать с минеральными маслами, ибо заполнение им зазоров между телами качения и сепаратором может иногда вызвать заклинивание подшипника. Однако при повышенных температурах, исключающих применение масел, вдувание порошка MoS_2 или коллоидального графита может обеспечить кратковременную работу подшипников качения даже при напряженных скоростных режимах.

Можно также применять втирание порошка MoS_2 в дорожки качения шарико- и роликоподшипников. Втирание порошка производится замшей или кистью с расходом 5—8 *г* порошка на 1 $м^2$. Можно, наконец, создать в сепараторах подшипников качения замкнутые полости, заполнив последние коллоидным графитом или порошком MoS_2 с выбросом их сквозь небольшие отверстия на тела качения.

В атмосфере азота порошок MoS_2 работоспособен до температуры +800°, а в вакууме и в инертных газах — до +1150°; однако, выше 400° С он вызывает абразивный износ. Нижний температурный предел порошка для MoS_2 —80°.

Для подшипниковых узлов металлургического оборудования используют жидкие кремнийорганические (силиконовые) смазки с температурами застывания —(22÷57)° и температурой вспышки +(288÷316)°.

Существуют также силиконовые консистентные смазки, в которых в качестве загустителей использованы кремнезем, сажа или литиевое мыло. Температурные пределы их от —29÷73° до +150÷260°. Силиконовую термостойкую смазку применяют для печных агрегатов и механизмов с температурным пределом +370°. Кроме того, существует также универсальная неорганическая микрогельная консистентная смазка с рабочей температурой до +230°.

ВЫБОР СМАЗКИ

При выборе смазки для какого-либо узла необходимо тщательно рассмотреть условия его работы, сопоставить их с характеристиками смазок, так как смазки не универсальны, и там, где одна дает хорошие результаты, другая может оказаться совершенно непригодной. Только после выбора смазки можно приступить к конструированию подшипникового узла (корпуса, системы уплотнений и подачи смазки).

Выбор сорта смазки следует производить исходя из факторов скорости вращения (числа оборотов в минуту и габаритов подшипника), нагрузки на подшипник, рабочей температуры подшипникового узла и характера окружающей среды.

Жидкая смазка является наилучшей для подшипников, но вызывает значительное усложнение конструкции уплотнения.

Практически наиболее удобными для смазки большинства подшипников надо считать консистентные смазки, так как их применением достигается простота уплотнений, значительный срок работы узла без замены смазки и эффективная изоляция подшипника от воздействия внешней среды. Поэтому, подбирая смазку, следует прежде всего посмотреть, подходит ли к данным условиям работы консистентная смазка.

В совершенно сухих условиях работы лучше всего применить комбинированную кальциево-натриевую или натриевую смазку.

При работе подшипникового узла в условиях большой влажности выби-

рают чисто кальциевую смазку — солидол. Однако без необходимости солидол применять не рекомендуется, так как в нем имеются несвязанная вода и посторонние примеси.

Наличие влаги и одновременно высокая температура узла выше 60° заставляют переходить на жидкую смазку. Вообще рекомендуется жидкую смазку применять только тогда, когда ни одна из консистентных смазок не может удовлетворить условиям работы узла.

Применение консистентных смазок нецелесообразно: 1) при высоких скоростях вращения (консистентная смазка вызывает сравнительно большие потери на трение, повышает температуру и отжимается от рабочих поверхностей, оставляя их сухими);

2) при высоких рабочих температурах;

3) при низких температурах (смазка сильно густеет и повышается внутреннее трение);

4) при особых требованиях к минимальному внутреннему трению в подшипнике, например в приборах;

5) при невозможности разборки узла для полной замены смазки.

На фиг. 1 представлена диаграмма для выбора смазки подшипников качения. Диаграмма наиболее пригодна для выбора смазки подшипников легкой серии, работающих в условиях небольших нагрузок.

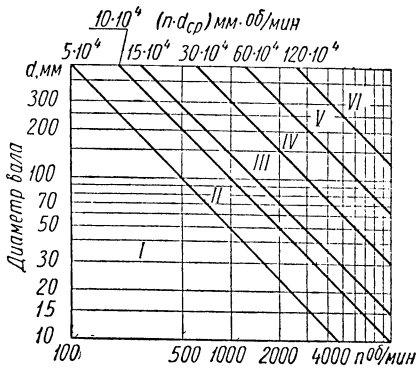
Зона *I* при $d_{cp}n$ до 50 000 *мм · об/мин* позволяет использовать любые сорта консистентных смазок, в том числе и синтетических, выбор которых зависит от нагрузки, температуры и влажности окружающей среды.

Зона *II* при $d_{cp}n$ до 150 000 допускает наряду с жидкими минеральными маслами, вязкость которых следует выбирать, ориентируясь на рабочую температуру, также использование несинтетических (жировых) консистентных смазок.

Зона *III* при $d_{cp}n$ до 300 000 предусматривает использование минеральных масел средней вязкости и консистентных смазок на кальциево-натриевой и литиевой основе. Следует избегать избытка смазки в подшипниковых корпусах во избежание повышения температуры подшипников.

Зона *IV* при $d_{cp}n$ до 600 000 предусматривает использование минерального масла невысокой вязкости с подачей его фитильной или капельной масленкой или в виде масляного тумана, создаваемого при помощи специальных распылителей, работающих сжатым воздухом от заводских сетей (с дросселированием).

Зона *V* при $d_{cp}n$ до 1 200 000 позволяет применять струйную форсуночную



Фиг. 1. Диаграмма для выбора смазочного материала и способа подвода смазки к подшипнику качения при небольших нагрузках (предложена Н. А. Спициным).

смазку с обильной прокачкой и свободным сбросом (или интенсивным отсосом) или при малых габаритах подшипника и легких нагрузках смазку масляным туманом. Вязкость масла выбирают с учетом рабочей температуры узла. Желательно искусственное охлаждение подшипникового узла.

Зона *VI* при $d_{cp}n$ свыше 1 200 000 мало изучена. Рекомендации те же, что и для зоны *V*. При повышенных рабочих температурах вязкость масла следует несколько увеличивать. Искусственное охлаждение подшипникового узла совершенно необходимо. Иногда комбинируют водяное, воздушное и масляное охлаждение. При нормальной температуре узла (за счет эффективного охлаждения) следует применять масло тем меньшей вязкости, чем выше скорость вращения вала.

Заполнение корпуса консистентной смазкой зависит от конструкции и условий работы подшипникового узла, но не должно быть более $^1/_3$—$^1/_2$ всего свободного пространства корпуса подшипника независимо от сорта смазки. Осмотр и добавление смазки желательно производить через каждые 2—3 месяца, а полную замену смазки с промывкой корпуса и подшипников — не реже одного раза в год.

Заполнение корпуса жидким минеральным маслом при средних и низких скоростях должно производиться примерно до центра нижнего шарика или ролика во избежание излишних потерь на барботаж (перемешивание) масла и связанного с этим нагрева. Осмотр и доливку масла при $n \leqslant$ $\leqslant$ 1000 об/мин следует производить через каждые 30 дней, а полную смену его — через каждые 6 месяцев — для более быстроходных машин — чаще.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОК ПО ПАРАМЕТРАМ $d_{cp}n$ и σ_{max}

Чем выше рабочие скорости и нагрузки, действующие на детали подшипника качения, тем большее значение приобретает смазка как фактор, обеспечивающий отвод тепла от быстро нагревающихся элементов подшипника. Поэтому все более широкое применение в современной практике находят следующие методы одновременной смазки и охлаждения подшипника:

1. Смазка масляным туманом для легконагруженных опор быстроходных валов и шпинделей.

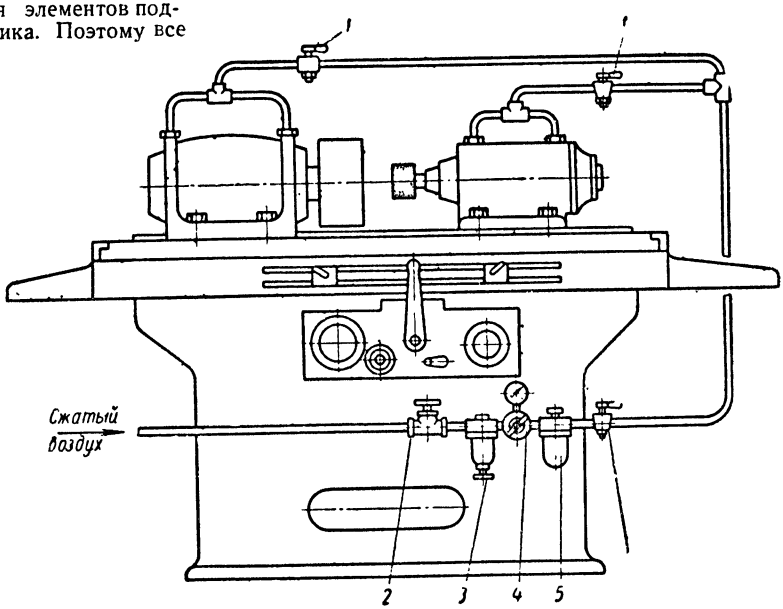
2. Струйная смазка с распылением масла сжатым воздухом для сильнонагруженных опор валов.

3. Смазка масляным туманом (фиг. 2) при одновременном водяном охлаждении корпуса подшипника применяется для легконагруженных опор наиболее быстроходных валов и шпинделей.

4. Струйная форсуночная смазка с циркуляцией, фильтрацией и водяным охлаждением масла, а также корпуса подшипника с помощью отдельного устройства или подача масла через отверстие в кольце на желоб (при обеспечении интенсивной регулируемой прокачки масла и свободного сброса его или особенно интенсивного отсоса из корпуса) применяется для тяжелонагруженных быстроходных подшипников.

Эти новые способы смазки в значительной мере вытеснили, особенно в ответственных узлах, капельную (масленочную), фитильную и барботажную смазку жидкими маслами, а также сократили использование консистентных смазок.

При поступлении жидкой смазки к радиально-упорному шарикоподшипнику, являющемуся наиболее характерным

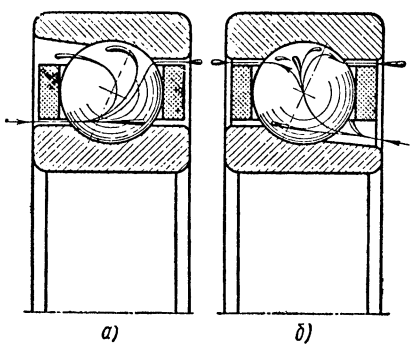


Фиг. 2. Схема подвода масляного тумана к шпинделям круга и изделия внутришлифовального станка: *1* — контрольный кран; *2* — вентиль; *3* — фильтр с осушителем; *4* — регулировочный клапан с манометром; *5* — распылитель.

представителем особо быстроходных подшипников, необходимо учитывать, как базируется его массивный (обычно текстолитовый) сепаратор на бортах колец.

На фиг. 3 показаны схемы циркуляции масла, подаваемого в зазор между сепаратором и внутренним кольцом подшипника при базировании сепаратора на бортах внутреннего кольца (фиг. 3, *а*) и на бортах наружного кольца (фиг. 3, *б*).

Из приведенных схем ясно, что при новом методе базирования по наружному кольцу (фиг. 3, *б*), внедренном сейчас для подшипников электрошпинделей,

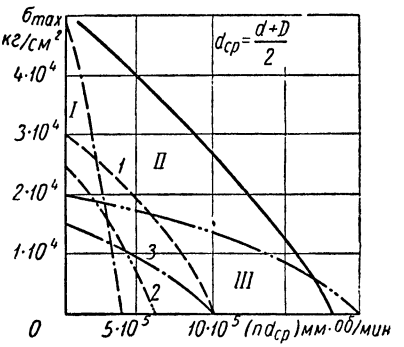


Фиг. 3. Поступление минерального масла на рабочие поверхности радиально-упорных шарикоподшипников при разных способах базирования сепаратора.

масло поступает через широкое отверстие и лучше смазывает (на выходе) направляющие борты колец, чем при старом методе базирования, когда вход масла в подшипник затруднен, а облегченный сброс масла не всегда гарантирует проникновение его ко всем поверхностям трения.

Сорт смазки и метод ее подачи зависят в значительной мере от скорости вращения тел качения и от величины наибольших контактных напряжений смятия σ_{max}. На фиг. 4 представлена диаграмма, связывающая σ_{max} и скоростной параметр $d_{cp}n$ с видом смазки (консистентная, жидкая, масляный туман).

Известно, что при малых нагрузках и высоких скоростях маловязкие масла (индустриальное 10, трансформаторное и т. п.) обеспечивают меньший прирост температуры от работы трения, чем масла значительной вязкости (цилиндровое, МС-20 и т. п.). Однако при больших нагрузках в сочетании с высокими скоростями, особенно при значительных рабочих температурах, когда вязкие масла разжижаются, а некоторые легкие масла достигают температуры вспышки, можно ориентироваться на более вязкие сорта смазки с повышенной прочностью



Фиг. 4. Диаграмма Н. А. Спицына для выбора режима смазки высокоскоростных шарикоподшипников: зоны: *I* — консистентные смазки; *II* — минеральные масла; *III* — масляный туман; *1* — переход к прокачке масла; *2* — граница капельной смазки; *3* — граница фитильной смазки.

масляной пленки. Однако при больших прокачках, когда основной задачей смазки является отбор тепла от подшипника, применение масел меньшей вязкости обеспечивает относительно меньшую рабочую температуру подшипников.

Для примерной оценки предела применяемости различных смазок по параметру $[d_{cp}n]_{max}$ можно ориентироваться на следующие экспериментально установленные ВНИППом скоростные пределы.

	$[d_{cp}n]_{max}$ мм·об/мин
Обычные сорта консистентных смазок, в том числе синтетические смазки	300 000
Жировые консистентные смазки (при заполнении свободной емкости корпуса на 1/3)	450 000
Фитильная и капельная смазки маловязкими минеральными маслами	600 000
Смазка масляным туманом	1 200 000 и более
Прокачка синтетических смазывающих жидкостей	1 400 000
Прокачка минеральных масел надлежащей вязкости в количестве, необходимом для отвода тепла и поддержания постоянной рабочей температуры в подшипниковом узле	До 2 500 000

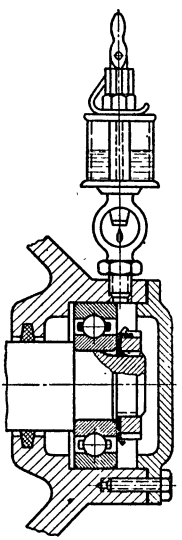
СПОСОБЫ СМАЗКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОДШИПНИКОВ

Смазка должна поступать к подшипникам в небольших количествах с использованием одного из следующих способов ее подачи:

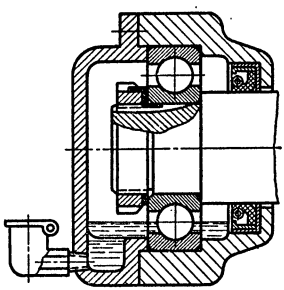
а) капельно-масленочная смазка с подачей нескольких капель в минуту;

б) фитильная смазка, обеспечивающая подсос и распыление масла в небольших количествах;

в) разбрызгивание масла, залитого в корпус в небольшом количестве, специальными кольцами, вращающимися вместе с валом или деталями самого подшипника;



Фиг. 5. Капельная смазка в подшипниковом узле быстроходного электродвигателя.



Фиг. 6. Нормальное заполнение корпуса подшипника минеральным маслом.

г) использование консистентной смазки с небольшим заполнением корпусов;

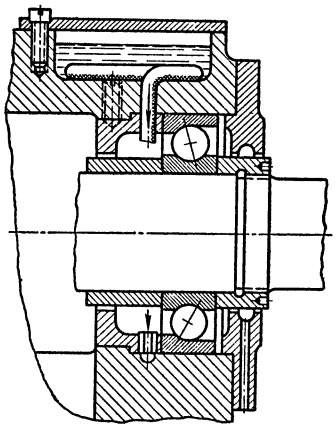
д) струйная форсуночная смазка с прокачкой, регулируемой соответственно нагрузке подшипника;

е) смазка «масляным туманом», т. е. смазка распыленной струей сжатого воздуха (обычно с помощью прибора форсуночного типа).

На фиг. 5 показан подшипник с капельной смазкой.

На фиг. 6 представлен корпус станочного подшипника, заполняемый до определенного уровня жидким маслом (обычно до центра шарика, занимающего нижнее положение в подшипнике). Такое выполнение пригодно при $[d_{ср}n]_{max}$ до 200 000 *мм · об/мин.*

Фитильная подача масла может выполняться различно. На фиг. 7 показано, как масло подается к подшипнику фитилем из резервуара, находящегося над подшипником. Конец фитиля располагается несколько выше центра шарика, занимающего верхнее положение в подшипнике, и подает по несколько капель масла в минуту. Для легконагруженных шпинделей такой метод смазки пригоден при $[d_{ср}n]_{max}$ до 400 000 *мм · об/мин.*



Фиг. 7. Подача масла к быстроходному подшипнику фитилем сверху.

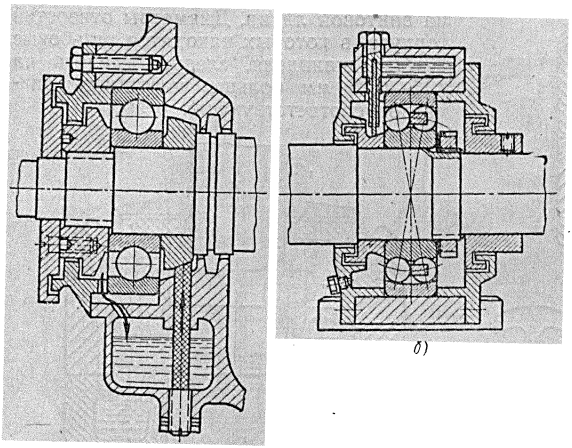
Фитиль чаще располагают так, чтобы он прилегал к конусной шайбе, распыляющей при своем вращении подсасываемое фитилем масло (фиг. 8, *а*, *б*). При нижнем расположении фитиля масло, прошедшее в промежутки между деталями подшипника, стекает обратно в резервуар, питающий фитиль смазкой.

Конструкция узла с фитильной смазкой, представленная на фиг. 9, отличается от показанной на фиг. 8 наличием пружинки, поджимающей фитиль к конусу-распылителю. Для узлов, предназначенных к длительной эксплуатации, конструкции, представленные на фиг. 8 и 9, неудобны, так как требуют периодического контроля и переналадки фитилей. Вариантом подобного же решения является фитильная смазка с подачей масла сверху на конусы-распылители, выполненные на распорной трубке (фиг. 10). Этот вариант пригоден для $[d_{ср}n]_{max}$ до 500 000 *мм · об/мин.*

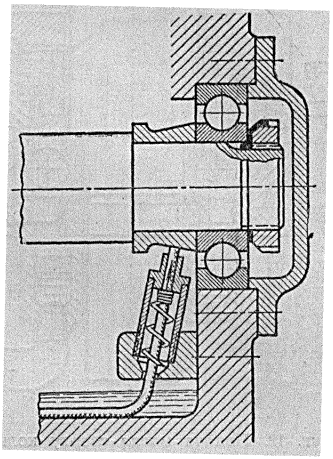
Фитили могут быть использованы также для смазки вертикальных валов (фиг. 11). Конец фитиля опирается на шайбу, вращающуюся вместе с валом и

прикрывающую подшипник сверху. Избыток масла сбрасывается конусным торцом распорной втулки, располагающейся под подшипником. Нижняя часть

скапливается в нижней части корпуса и периодически сливается оттуда с помощью крана. Для длительной эксплуатации такое решение непрактично.

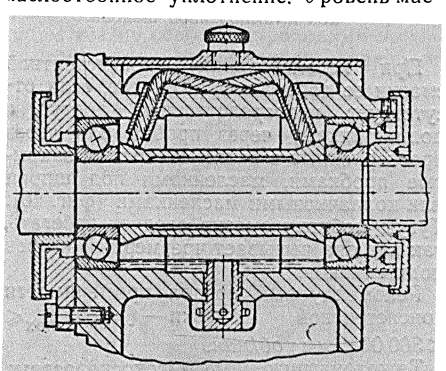


Фиг. 8. Фитильная смазка высокоскоростных подшипников.



Фиг. 9. Фитиль с пружинным поджимом.

этой втулки образует вместе с охватывающим ее кольцевым выступом корпуса маслоотбойное уплотнение. Уровень мас-

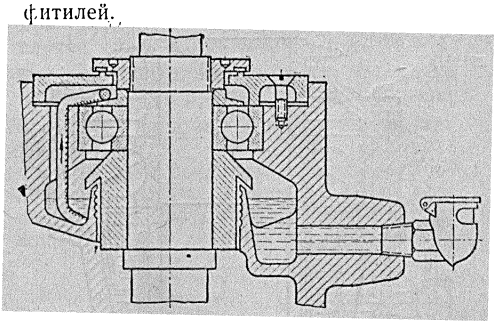


Фиг. 10. Фитильная смазка двух опор с подачей масла сверху и подъемом конусами.

ла должен строго контролироваться, так как его повышение вызовет утечку смазки сквозь нижнее уплотнение. Такое решение пригодно для верхней опоры вертикального быстроходного электродвигателя при $[d_{cp}n]_{max}$ до 400 000 *мм · об/мин*.

Примерно такого же эффекта можно достичь при верхней смазочной камере с несколькими выходящими из нее фитилями (фиг. 12). Отработанное масло

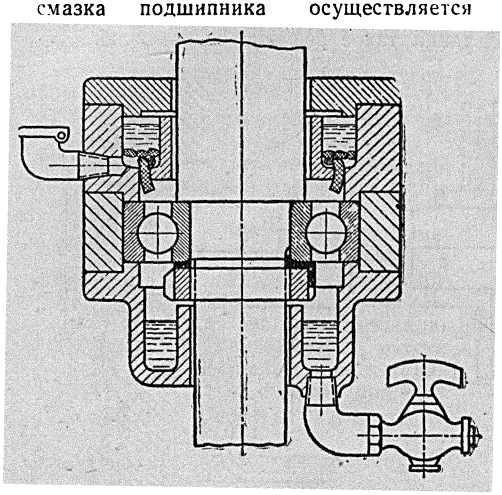
Недостатком фитильной смазки является незначительная и трудно регулируемая подача масла, а также засорение фитилей.



Фиг. 11. Фитильная подача смазки к подшипнику вертикального вала через шайбу-распылитель.

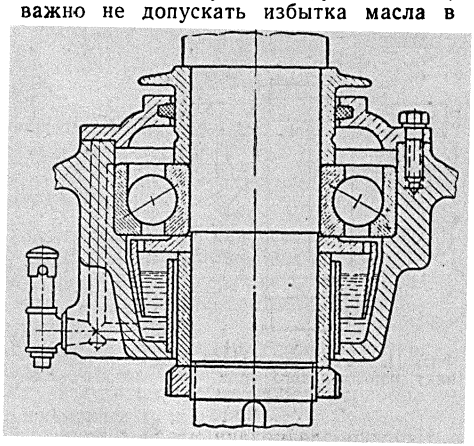
Нередко для подачи масла к подшипникам вертикальных валов (шпинделей фрезерных станков по дереву) применяют маслоподъемные конусные насадки. Обычное выполнение подобного узла для $[d_{cp}n]_{max}$ до 300 000 *мм · об/мин* представлено на фиг. 13. Конус должен расширяться в месте подхода к подшипнику, а для стока избытка масла в торце конусной насадки должно быть просверлено несколько отверстий,

Более простая конструкция, показанная на фиг. 14, менее удачна, так как смазка подшипника осуществляется



Фиг. 12. Подача масла сверху кольцевым фитилем.

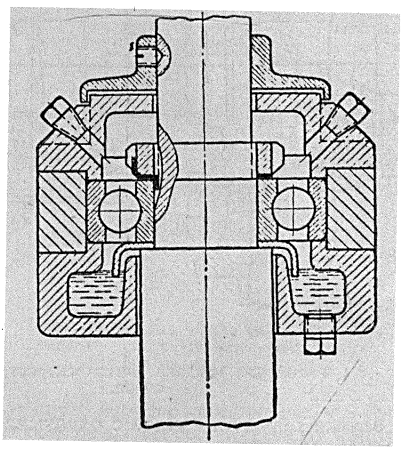
здесь исключительно за счет разбрызгивания масла шайбой, касающейся масла. Для обоих вариантов (фиг. 13 и 14) важно не допускать избытка масла в



Фиг. 13. Подъем масла конусом.

корпусе, вызывающего повышенный нагрев узла за счет работы, затрачиваемой на перемешивание масла. Предельная быстроходность узла при таком конструктивном решении лимитируется этим нагревом.

В некоторых случаях подача масла к подшипникам может быть обеспечена с помощью винтовой нарезки на шпинделе, выполняющей также функции уплотнения узла (фиг. 15). Для винтовой нарезки применяют квадратную четырехзаходную резьбу с большим углом подъема винтовой линии. Диаметры отверстий корпуса, в которых находятся резьбовые участки шпинделя, следует делать на 0,15—0,25 *мм* больше наружных диаметров соответствующих резьб.



Фиг. 14. Распыление смазки выпуклой штампованной шайбой.

При использовании консистентной смазки ее добавляют (в случае, если отсутствует непосредственный доступ к подшипникам) через пробки или через просверленные в валах отверстия, закрытые пробками, масленками под шприц или колпачковыми масленками (фиг. 16). Тугую набивку смазки следует избегать, так как она вызывает чрезмерный нагрев подшипников.

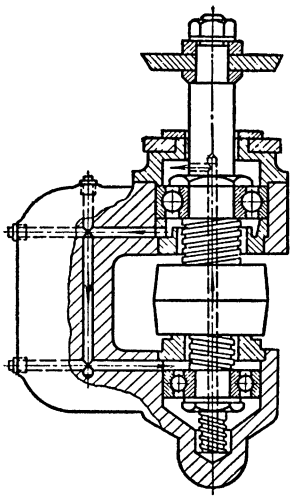
Рекомендуемый предел применимости консистентной смазки — $[d_{cp}n]_{max} \leqslant 300\,000$, *мм · об/мин*.

Тяжелонагруженные высокоскоростные подшипники, работающие при режимах $[d_{cp}n]_{max} \leqslant 1\,000\,000$—$2\,000\,000$ *мм · об/мин*, имеют весьма значительное тепловыделение, а поэтому главной задачей смазки в этом случае является удаление тепла.

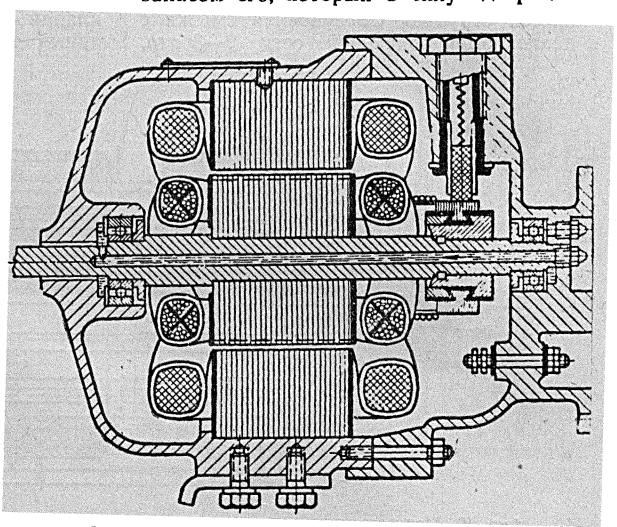
Для таких подшипников необходима струйная форсуночная смазка с прокачкой, регулируемой в зависимости от нагрузки на подшипник. Один из вариантов выполнения форсунок на гидравлическом испытательном стенде ВНИПП,

работавшем при $d_{cp}n]_{max} = 1\,750\,000$ *мм · об/мин*, приведен на фиг. 17. Удобны также кольцевые форсунки с отверстиями на уровне внутреннего диаметра сепаратора.

Кратковременную работу подшипника качения при предельно высоких скоростях можно обеспечить после одного окунания его в минеральное масло с тем запасом его, который в силу адсорбции

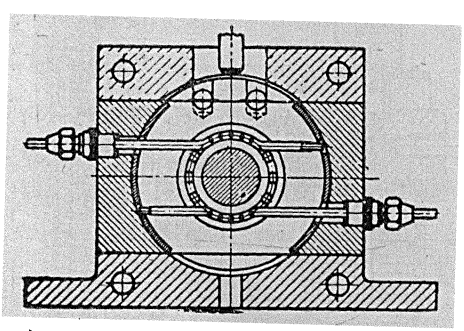


Фиг. 15. Смазка высокоскоростных подшипников винтовым насосом, созданным нарезками на шпинделе.



Фиг. 16. Смазка вентиляторного электромотора через сверление по оси вала.

Наконец, наиболее современным методом смазки особо быстроходных легконагруженных подшипников является

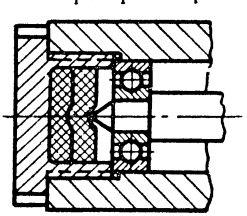


Фиг. 17. Испытательный стенд ВНИПП с форсуночной распылительной смазкой.

смазка «масляным туманом». От небольшого прибора инжекторного типа с распределительной коробкой может обеспечиваться смазка пяти-шести шпинделей или иных быстроходных узлов. Сейчас этот метод начал широко применяться на подшипниковых заводах.

прилипает к рабочим поверхностям подшипника. При таком способе смазки в случае, если $d_{cp}n \leqslant 600\,000$, работа подшипника продолжается только несколько минут, но уже при $d_{cp}n = 200\,000$ и небольшой нагрузке ресурс достигает 200 час.

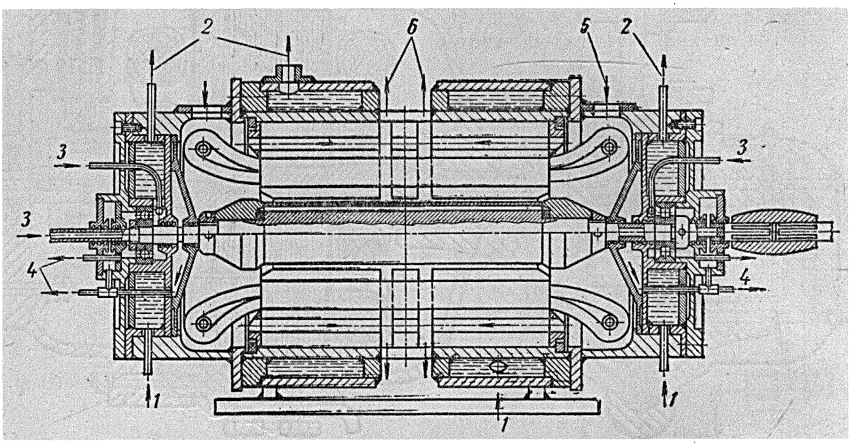
Ничтожная потребность мелких высокоскоростных подшипников в масле позволяет смазывать быстроходные шарикоподшипники роторов гироскопических



Фиг. 18. Смазка приборного шарикоподшипника заостренным концом вала, упирающимся в подушку из фетра.

приборов, при $d_{cp}n \leqslant 600\,000$ *мм · об/мин* с помощью пропитанного веретенным маслом кусочка фетра, в который упирается острый конец вала (фиг. 18).

Для тяжелонагруженных быстроходных опор, например подшипников турбин и компрессоров турбореактивных двигателей, а также электродвигателей специального исполнения (фиг. 19), применяется струйная форсуночная смазка с давлением в подающей сети 2—3 *ати*.

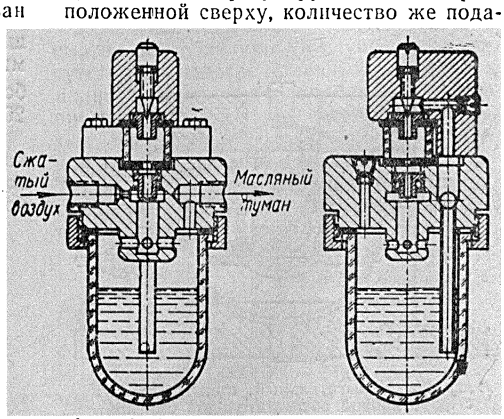


Фиг. 19. Искусственное водяное, воздушное и масляное охлаждение высокочастотного электродвигателя: *1* — подвод воды; *2* — отвод воды; *3* — подача масла; *4* — отвод масла; *5* — подвод сжатого воздуха; *6* — отвод сжатого воздуха.

Избыток масла удаляется принудительно с помощью отсасывающего насоса. В электродвигателе (фиг. 19) использован свободный сброс избытка масла; охлаждение статора и щитков — водяное, проточной водой из водопровода, а также воздушное, с нагнетанием воздуха специальным вентилятором через щитки и выбросом его через каналы в статоре в центре машины. Форсунки выполнены в виде трубок с несколькими отверстиями подающими масло (веретенное, легкое турбинное или трансформаторное) под сепаратор подшипника. Для улучшения распределения температуры по окружности подшипника можно использовать также кольцевую форсунку.

Для высокоскоростных легконагруженных подшипников, например, подшипников внутришлифовальных шпинделей, электродвигателей и ультрацентрифуг особенно эффективна смазка масляным туманом, обеспечивающая минимальный расход масла, хороший отбор и отвод тепла от всех элементов подшипников, а также повышение долговечности подшипников качения в несколько раз по сравнению с долговечностью при других видах смазки.

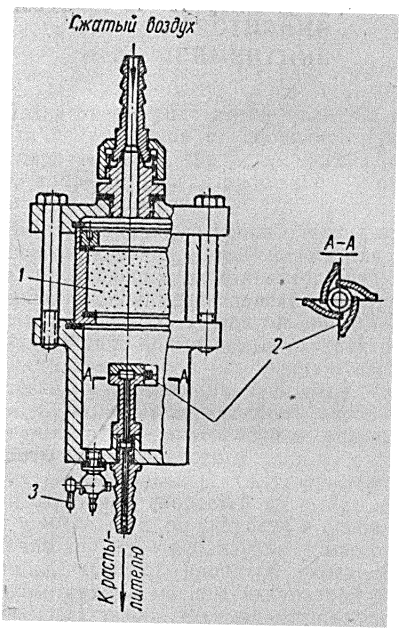
На фиг. 20 представлена одна из конструкций распылителей. Сжатый воздух подводится к нему через дроссельный клапан под давлением около 0,3 *ати;* масляный туман поступает по трубопроводам к подшипниковым узлам; концентрация масла регулируется иглой, расположенной сверху, количество же подаваемого масляного тумана регулируется изменением избыточного давления поступающего воздуха от 0,25 до 0,5 *ати*. Воздух, подаваемый в распылитель, должен предварительно проходить через



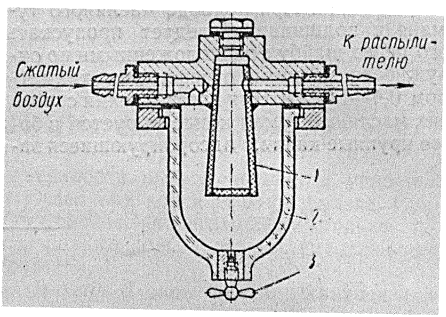
Фиг. 20. Схема распылителя для получения масляного тумана.

фильтр-осушитель (фиг. 21 и 22) и дроссельный клапан для регулирования давления (см. фиг. 23).

Распылитель SKF-262650 (фиг. 23), широко используемый в Швеции, США и других странах, отличается тем, что фильтр-осушитель и дроссельный клапан вмонтированы непосредственно в стакан распылителя, что повышает компактность установки. Расход масла при использовании распылителя ничтожен. По данным фирмы SKF, при диаметре сопла распылителя 1,5 *мм* и распылении машинного масла вязкостью около 200 *сст* при температуре 20°, расход воздуха через отводной штуцер диаметром 3 *мм* составляет 40 *л/мин*, а расход масла — 6—10 *Г/час*. Давление воздуха, поступающего из заводской компрессорной сети, посредством дроссельного клапана понижается с 6—8 до 3 и менее *ати*, причем на выходе давление масляного тумана не превышает 1,1 *ати*. В случае прекращения подачи воздуха, а следовательно, и образования масляного тумана, шпиндели должны автоматически отключаться специальным реле давления. Расход масла, подаваемого в виде тумана, не превышает 1 *Г/час* на подшипник среднего размера. В США рекомендуется принимать пониженное



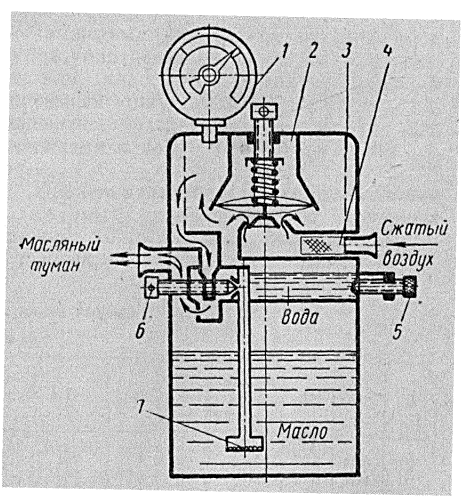
Фиг. 21. Фильтр-осушитель воздуха (1-я модель): *1* — осушитель (абразив); *2* — фильтры (сетки); *3* — кран для спуска конденсата.



Фиг. 22. Фильтр-осушитель воздуха (2-я модель): *1* — фильтр-осушитель; *2* — стакан из плексигласа; *3* — кран для спуска конденсата.

давление масляного тумана на выходе из распылителя от 0,4 до 0,7 *ати*, чтобы уменьшить выброс отработанного масляного тумана из корпусов шпинделей, так как последний неблагоприятно влияет на легкие обслуживающего персонала.

Можно также достичь конденсации масляного тумана, устанавливая на



Фиг. 23. Схема распылителя SKF-262650: *1* — манометр; *2* — редукционный клапан; *3* — металлическая сетка; *4* — фильтр для очистки воздуха; *5* — винт для спуска сконденсированной воды; *6* — винт, регулирующий концентрацию масляного тумана; *7* — масляный фильтр.

отводном патрубке сужающееся сопло или отводить масляный туман в особый дренажный трубопровод, например, сквозь слой воды, конденсирующей его в капли масла. При подводе масляного тумана к подшипнику следует пропускать его через шайбу с расположенными по окружности мелкими отверстиями диаметром 0,4—1,0 *мм*. При прохождении сквозь них масляный туман конденсируется в более крупные капли, адсорбирующиеся затем на рабочих поверхностях подшипника. Расположение отверстий рекомендуется выполнять по окружности внутреннего диаметра сепаратора. Трубопроводы сетей масляного тумана следует периодически продувать хорошо осушенным сжатым воздухом под рабочим давлением пневматической сети во избежание возникновения «масляных пробок», выбирая при этом для основных подводящих труб диаметр 10—12 *мм* в свету.

Глава VI

УПЛОТНЕНИЯ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

ТИПЫ УПЛОТНЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Назначением уплотнений является защита подшипников от проникновения в их корпусы пыли, грязи, жидкостей и газов, а также предотвращение утечки смазки из корпусов.

Эксплуатационные сроки службы подшипников качения, в особенности для узлов, работающих на открытом воздухе, в значительной мере зависят от надежности используемых уплотнений. Уплотнения, обычно применяемые на практике, представляют собой комбинацию из нескольких уплотняющих элементов, каждый из которых может быть использован только при определенных условиях работы подшипникового узла.

Фетровые кольца (табл. 1) применимы для окружных скоростей на шейке вала до 5 *м/сек*, т. е. по скорости в основном удовлетворяют требованиям массовых машин; требуют пропитки перед монтажом горячим маслом, аккуратной установки без зазора в стыке и тщательной обработки контактирующей с кольцом поверхности шейки; надежнее уплотняют узел при консистентной смазке. Сработавшиеся, пересохшие и сильно загрязненные кольца теряют уплотняющие свойства.

В табл. 2 даны профили канавок для уплотняющих колец.

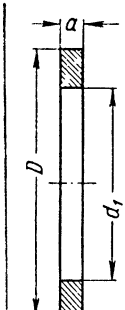
Проточки или жировые канавки (табл. 3) применимы при консистентной смазке и незначительном перепаде температур подшипникового узла и окружающей среды; непригодны в жарком климате, при сильном разжижении консистентной смазки и при окружных скоростях более 5 *м/сек*; они требуют точного соблюдения зазоров; эффективность их мала.

Манжетные уплотнения представляют собой уплотнения из кожи, твердой резины или пластмассы, завальцованные в железный кожух (или без кожуха), снабженные браслетной пружиной для прижатия к валу (фиг. 1 и табл. 4, 5).

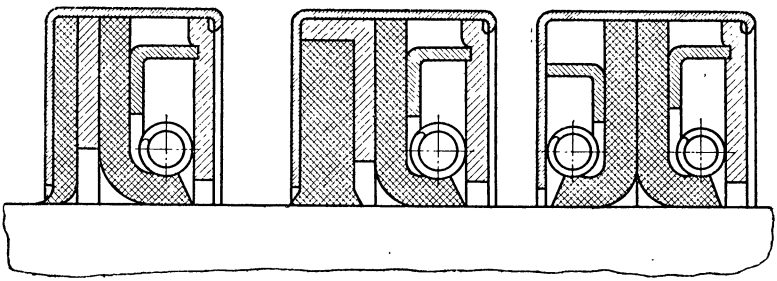
Предельная скорость, допустимая для манжетных уплотнений при точечных шейках 10 *м/сек*, при полированных — 15 *м/сек*.

1. Уплотняющие фетровые кольца

Размеры в *мм*



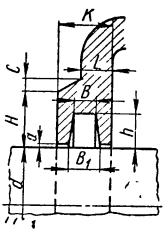
Диаметр вала d	D	d_1	a	Диаметр вала d	D	d_1	a	Диаметр вала, d	D	d_1	a
20	35	19	5	75	96	74	8	130	161	129	12
25	40	24	5	80	101	79	8	135	166	134	12
30	45	29	5	85	106	84	8	140	171	139	12
35	50	34	5	90	113	89	9	145	176	144	12
40	55	39	5	95	118	94	9	150	185	149	13,5
45	60	44	5	100	127	99	10,5	155	190	154	13,5
50	69	49	6,5	105	132	104	10,5	160	195	159	13,5
55	74	54	6,5	110	137	109	10,5	165	200	164	13,5
60	79	59	6,5	115	142	114	10,5	170	205	169	13,5
65	84	64	6,5	120	147	119	10,5	175	210	174	13,5
70	91	69	8	125	156	124	12	180	215	179	13,5



Фиг. 1. Манжетные кожаные уплотнения с пружинами.

2. Профили канавок для уплотняющих колец

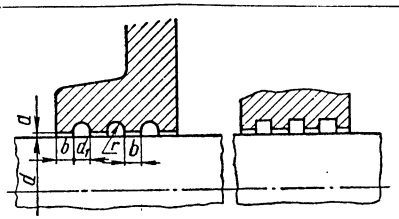
Размеры в *мм*



Диаметр вала d	b	b_1	h	H	C	K	L	a
20—45	4	5,5	6,5	10,5	2,0	10,5	6	0,5
50—65	5	7,0	8,5	13,5	3,0	13,0	7	0,5
70—85	6	8,2	9,5	15,0	3,5	15,0	8	0,5
90—95	7	9,5	10,5	17,0	3,5	16,5	9	0,5
100—120	8	11	125	20,0	4,0	18,0	10	0,5
125—145	9	12,4	14,5	22,0	5,0	22,0	12	0,5
150—180	10	13,9	16,5	25,0	5,5	250	14	0,5

3. Жировые канавки

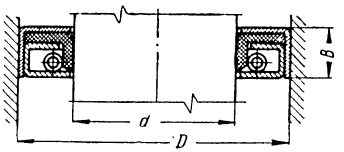
Размеры в *мм*



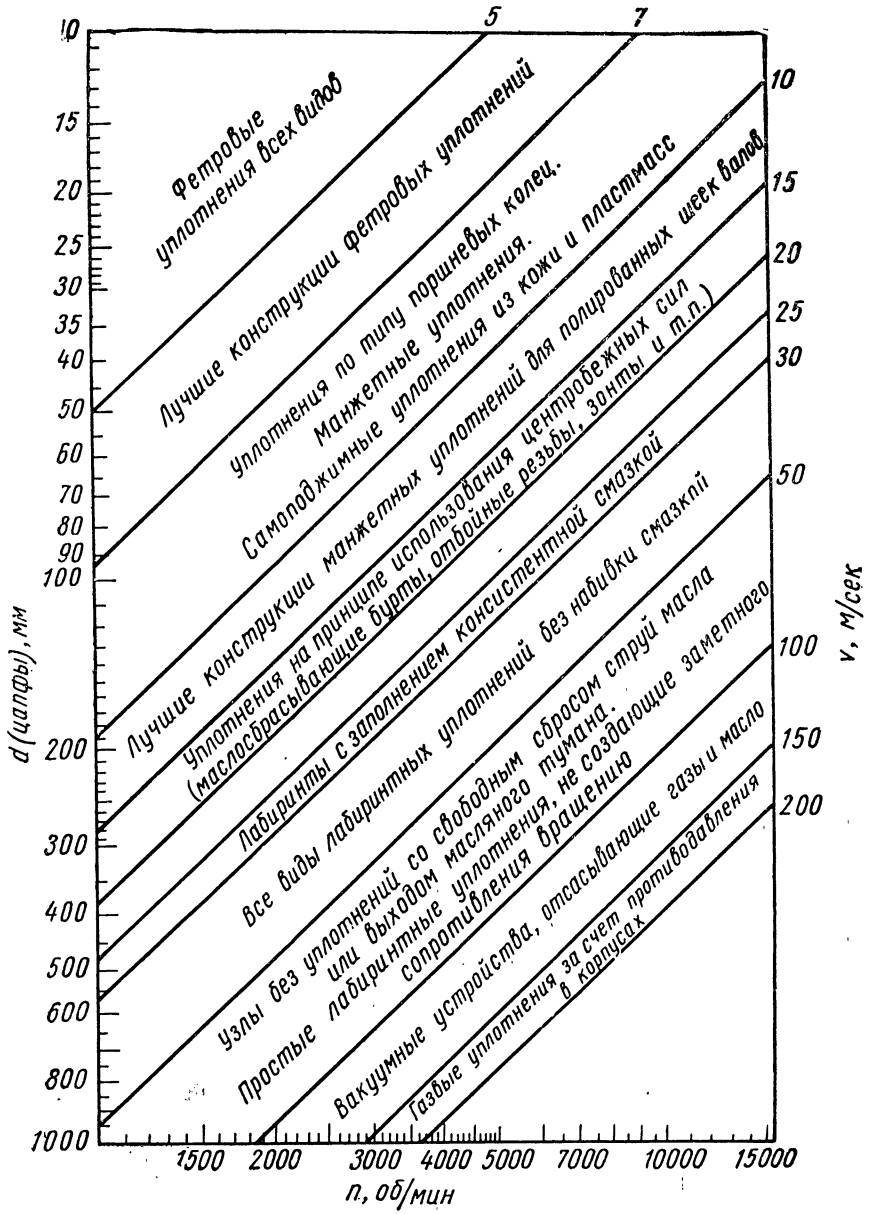
Диаметр вала d	b	r	d_1	a
20—45	2,0	1,00	2,0	0,5
50—65	2,0	1,00	2,0	0,5
70—85	2,5	1,25	2,5	0,5
90—95	2,5	1,25	2,5	0,5
100—120	3,0	1,50	3,0	0,5
125—145	4,0	2,00	4,0	0,5
150—180	4,0	2,00	4,0	0,5

4. Манжетные кожаные или пластмассовые уплотнения (по данным иностранных фирм)

Размеры в *мм*



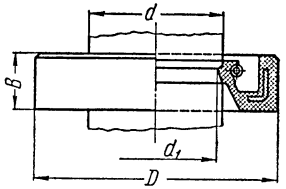
Наружный диаметр D	Диапазон диаметров d		Ширина	Вес уплотнения в $Г$
	d_{min}	d_{max}		
30	8	15	10	20
35	12	20	10	30
40	15	22	10	40
42,9	25	29	9,5	30
47	20	27	10	45
49,3	29,5	35	9,5	35
52	22	30	12	60
55,5	37,5	41,5	9	40
60	38,5	42,5	10,1	45
58	33	37	13	65
50	30	34	12	50
62	27	42	12	80
65	36	45	12	85
63,5	36	43	9,5	60
68	48	53	10,5	100
72	32	52	12	110
69	46	52	12	100
70	42	50	12	105
80	37	60	12	130
85	42	65	13	140
90	47	70	13	150
100	62	80	13	170
105	67	85	13	180
110	72	88	13	190
120	82	98	13	210
125	92	103	13	220
130	96	108	13	230
140	102	118	13	250
150	105	128	15	400
160	115	138	15	430
170	125	148	15	460
180	135	158	15	490
190	145	168	15	520
200	155	178	15	570
215	165	190	16	800
230	182	205	16	870
250	197	225	16	1040
270	217	245	16	1070
290	237	265	16	1210
310	257	285	16	1350



Фиг. 2. Диаграмма Н. А. Спицына для выбора типа уплотнения в зависимости от окружной скорости цапфы.

5. Уплотнения резиновые манжетные для подшипниковых узлов (по ГОСТ 8752-58)

Размеры в *мм*



Диаметр вала d	d_1 Номинал	d_1 Пред. откл.	D Номинал	D Пред. откл.	B Номинал	B Пред. откл.
6	6		16 22			
7	7		16 22			
8	8		19 22			
9	9		19 22			
10	10		22 30	+0,30	8	±0,20
11	11		26 30	+0,15		
12	12		26 32			
13	13	−0,7	26 28			
14	14		28 35			
15	15		30 35			
16	16		30 35			
17	17		30 35			
18	18		30 35	+0,40		±0,25
19	19		36	+0,20	10	
20	20		32 40			
21	21		38			
22	22		32 40			
24	24		46			
25	25		37 45			
26	26		45			
28	28		42 50			
30	30		50 55			
32	32		47 52			
35	35		52 55	+0,40		

Продолжение табл. 5

Диаметр вала d	d_1 Номинал	d_1 Пред. откл.	D Номинал	D Пред. откл.	B Номинал	B Пред. откл.
38	38		58 60 62	+0,20	10	±0,25
40	40		55 62			
42	42		64			
45	45		62 75			
48	48		72			
50	50	−1,2	70 80			
52	52		72			
55	55		80 85			
58	58		82			
60	60		85			
65	65		90			
70	70		95			
75	75		100	+0,50		
80	80		105	+0,25	12	±0,30
85	85		110			
90	90		120			
95	95		125			
100	100		130			
105	105		135	+0,60	14	±0,35
110	110	−1,5	140	+0,30		
115	115		145			
120	120		150	+0,60	14	±0,35
130	130	−1,5	160	+0,30		
140	140		170			
150	150		180			
160	160		190	+0,70	16	±0,40
170	170		200	+0,35		
180	180		220			
190	190	−1,8	230			
200	200		240			
210	210		250	+0,80		±0,45
220	220		260	+0,40	18	
240	240		280			
250	250		290			
260	260		300			
280	280		320			
300	300		340	+0,90		
320	320	−2,2	360	+0,45	20	±0,50
340	340		380			
360	360		400			
380	380		420			
400	400		440			
420	420		470			
450	450		500			
480	480		530	+1,0		
500	500	−2,8	550			
530	530		580	+0,5	25	±0,65

Продолжение табл. 5

Диаметр вала d	d_1		D		B	
	Номинал	Пред. откл.	Номинал	Пред. откл.	Номинал	Пред. откл.
560	560		610			
600	600		650			
630	630		690			
670	670		730	+1,2	30	±0,60
710	710	−4,0	770	+0,6		
750	750		810			
800	800		860			
850	850		910	+1,2		
900	900	−4,0	960	+0,6	30	±0,60
950	950		1010			
1000	1000		1060			
1060	1060		1140			
1120	1120	−5,5	1200	+1,5	40	±0,70
1180	1180		1260	+0,7		
1250	1250		1330			
1320	1320		1420			
1400	1400	−6,5	1500	+1,8	50	±0,80
1500	1500		1600	+1,0		

Примечание. d_1 — внутренний диаметр манжеты без пружинного браслета.

Лабиринтные уплотнения применимы почти для любых скоростей и видов смазки. Эффективность их определяется правильным чередованием малых зазоров с большими зазорами, в которых происходит потеря кинетической энергии, попадающей извне струи жидкости или газа.

В реальных подшипниковых узлах рассмотренные выше элементы уплотнений могут применяться в различных взаимных сочетаниях, в комбинации с трущимися конусообразными кольцами и маслосбрасывающими буртами.

Для ориентировочного выбора уплотнений можно пользоваться диаграммой, представленной на фиг. 2.

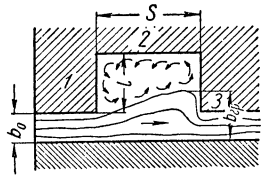
РАСЧЕТ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Лабиринтные уплотнения, обычно применяемые в подшипниковых узлах, могут быть разделены на две группы.

К первой группе относятся односторонние лабиринты или проточки (фиг. 3) с расположением промежуточных гребней на одном уровне. Движение потока происходит в них прямолинейно.

Ко второй группе относятся лабиринты, у которых имеются выступы или ступенчато расположенные гребни, препятствующие прямолинейному движению потока (фиг. 4). В зависимости от расположения их называют радиальным или осевыми лабиринтами.

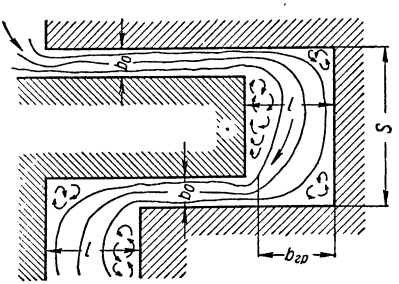
Характер движения воздуха в камере лабиринта показан на фиг. 3 и 4, где



Фиг. 3. Лабиринт с односторонним расположением гребней.

видны места сужения и расширения струй, а также места вихревого движения воздуха.

Для расчета сопротивления лабиринта достаточно определить коэффициент сопротивления одной камеры. Общий коэффициент сопротивления лабиринта является суммой коэффициентов сопротивлений последовательно расположенных камер.



Фиг. 4. Лабиринт с двухсторонним расположением гребней.

Сопротивление камеры состоит из потерь энергии в ядре струи постоянной массы, которые складываются из двух частей:

1) разности запасов энергии ядра постоянной массы в начале *1* и в конце *2* камеры,

2) потерь энергии от внезапного сжатия ядра постоянной массы при его втекании в зазор *3* (см. фиг. 3).

Ввиду того что в лабиритах с прямолинейным движением потока ширина лабиринтного кольца всегда мала по сравнению с его диаметром, можно без

большой погрешности заменить при расчете кольцевую форму лабиринта плоской, и расчеты производить для плоской свободной струи.

Очевидно, лабиринты с непрямолинейным движением потока более эффективны, так как длина струи в них, а следовательно, и сопротивление, получаются значительно бо́льшими, чем в лабиринтах с прямолинейным движением потока. В лабиринтах с непрямолинейным движением площади поперечных сечений в местах поворота потока обычно принимают сравнительно большими, поэтому потери энергии в камере и здесь можно рассматривать, как потери в плоской струе, принимая ее длину равной длине пути потока S от одного зазора до другого.

Целью подшипникового уплотнения является максимальное увеличение сопротивления протеканию сквозь него воздуха или жидкости. Чем больше величина безразмерного коэффициента сопротивления, тем больше потери энергии при протекании сквозь уплотнения жидкой или газообразной среды.

Следовательно, качество уплотнений, их герметичность можно сравнивать по расчетным величинам коэффициентов их сопротивления, чем эти коэффициенты больше, тем уплотнение надежнее.

Для вычисления коэффициентов сопротивления необходимо знать площади сечений входного и выходного отверстий, а также площади сечений каждой проточки и каждой ступени лабиринта. Входное внешнее отверстие лабиринта не должно иметь фасок и закруглений, причем его выгоднее располагать (с учетом влияния центробежных сил) на большом диаметре.

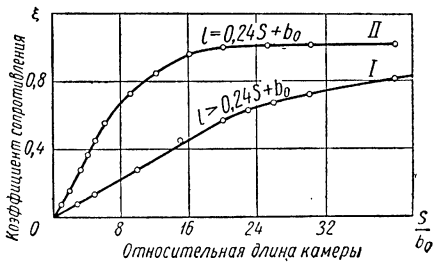
Приступая к расчету лабиринта, необходимо прежде всего выбрать величину зазоров b_0 (фиг. 3, 4). Эти зазоры должны быть минимальными, но должны гарантировать (с учетом производственных допусков) от соприкосновения вращающиеся и неподвижные детали при возможных температурных удлинениях вала.

Установив минимальный зазор (обычно 0,3—1,0 *мм*), следует перейти к расчету коэффициента сопротивления одной камеры лабиринта.

Коэффициент сопротивления ξ зависит от относительной длины $\left(\frac{aS}{b_0}\right)$ и относительной ширины $\left(\frac{l}{b_0}\right)$ камеры лабиринта,

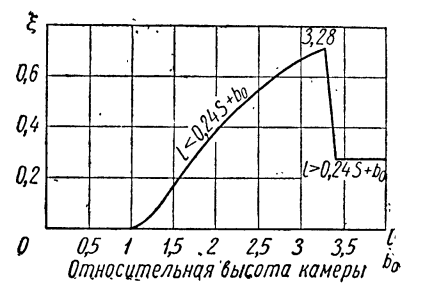
где $a = 0{,}09 \div 0{,}11$ — коэффициент структуры струи; S — длина камеры: l — ширина камеры.

Выражение $l \leqslant 0{,}24S + g_0$ получено из формулы гидродинамики $\frac{b_{гр}}{b_0} = 2{,}4\,\frac{aS}{b_0} + 1$ при коэффициенте структуры струи $a = 0{,}1$, где $b_{гр}$ — предельная ширина расширяющейся струи.



Фиг. 5. Зависимость коэффициента сопротивления ξ камеры лабиринта от ее относительной длины $\frac{S}{b_0}$ при $l \leqslant 0{,}24\,S + b_0$; $a = 0{,}1$.

На фиг. 5 и 6 проведены диаграммы для определения коэффициента сопротивления ξ на основании формул гидроди-



Фиг. 6. Зависимость коэффициента сопротивления камеры лабиринта от относительной высоты $\frac{l}{b_0}$ при $\frac{b_{гр}}{b_0} > \frac{l}{b_0}$ по формуле $\xi = 1{,}5\left(1 - \frac{b_0}{l}\right)^2$.

намики для камер лабиринтов с прямолинейным и непрямолинейным движением потока.

Из рассмотрения кривой *I* (фиг. 5) видно, что при увеличении относительной длины камеры $\frac{S}{b_0}$ от 0 до 20 коэффициент сопротивления растет линейно и может быть подсчитан по уравнению.

$$\xi = 0{,}0287\,\frac{S}{b_0}.$$

При $l > 0{,}24S + b_0$ коэффициент сопротивления должен определяться по кривой *I* (фиг. 5), а при $l < 0{,}24S + b_0$ величина коэффициента сопротивления ξ не связана с длиной камеры и зависит от относительной ее ширины.

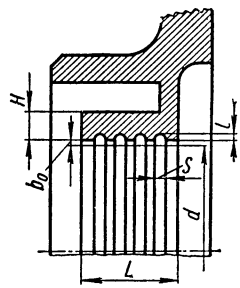
Кривая *II* построена для частного случая, когда ширина камеры равна ширине свободной струи $l = 0{,}24S + b_0$, по формуле $\xi = 1{,}5\left(1 - \frac{b_0}{l}\right)^2$. Этот случай дает наибольшие значения коэффициента сопротивления ξ, но он трудно осуществим на практике. Уже небольшое отклонение в величине l делает недопустимым использование данной формулы.

На фиг. 6 представлена кривая ξ при $\frac{S}{b_0} = \text{const}$. Из этой кривой видно, что увеличение ширины камеры l целесообразно лишь до определенного предела $l = 0{,}24S + b_0$. Когда l становится больше $0{,}24S + b_0$, коэффициент сопротивления ξ резко падает, и при дальнейшем увеличении l он остается постоянным. Так например, при $b_0 = 0{,}7$ *мм*, $S = 7$ *мм*, т. е. $\frac{S}{b_0} = 10 = \text{const}$, наибольшее значение $\xi = 0{,}726$ получается при $l = 2{,}3$ *мм* и $\frac{l}{b_0} = 3{,}28$. Однако уже при $l = 2{,}4$, когда $l > 0{,}24S + b_0$, коэффициент сопротивления резко падает ($\xi = 0{,}28$) и не изменяется при дальнейшем увеличении l (фиг. 6).

При практическом подборе размеров лабиринтного уплотнения принимают полуширину зазора $b_0 = 0{,}3 \div 1{,}0$ *мм*.

Число камер лабиринта z, ширину камеры l и длину камеры S, которые определяют коэффициент сопротивления ξ, следует выбирать на основе анализа нескольких вариантов размеров и расположения камер в пределах заданных габаритов лабиринта, так, чтобы общий коэффициент сопротивления $\xi_{общ} = \xi_1 + \xi_2 + \ldots + \xi_n$ получался наибольшим.

Пример. Предполагаемая конструкция уплотнения (фиг. 7) состоит из четырех проточек и одногребенчатого лабиринта с размерами $2b_0 = 1{,}0$ *мм*; $S = 3$ *мм*; $l = 1{,}5$ *мм*; $z = 4$; $d = 25$ *мм*; $H = 7{,}5$ *мм*.



Фиг. 7. Комбинация уплотнения проточками с одногребенчатым лабиринтом.

1. По предельным отклонениям размеров подшипникового узла проверяем минимально допустимый зазор $2b_0$. Принимаем $2b_0 = 1$ *мм*.

2. Определяем полуширину свободной струи

$$b_{гр} = 0{,}24S + b_0;$$

$$b_{гр} = 0{,}24 \cdot 3 + 0{,}5 = 1{,}22.$$

3. Так как здесь $l > b_{гр}$, то коэффициент сопротивления одной проточки

$$\xi = 0{,}0287\,\frac{S}{b_0} = 0{,}0287\,\frac{3}{0{,}5} = 0{,}17.$$

4. Находим коэффициент сопротивления четырех проточек

$$4\xi = 0{,}17 \cdot 4 = 0{,}68.$$

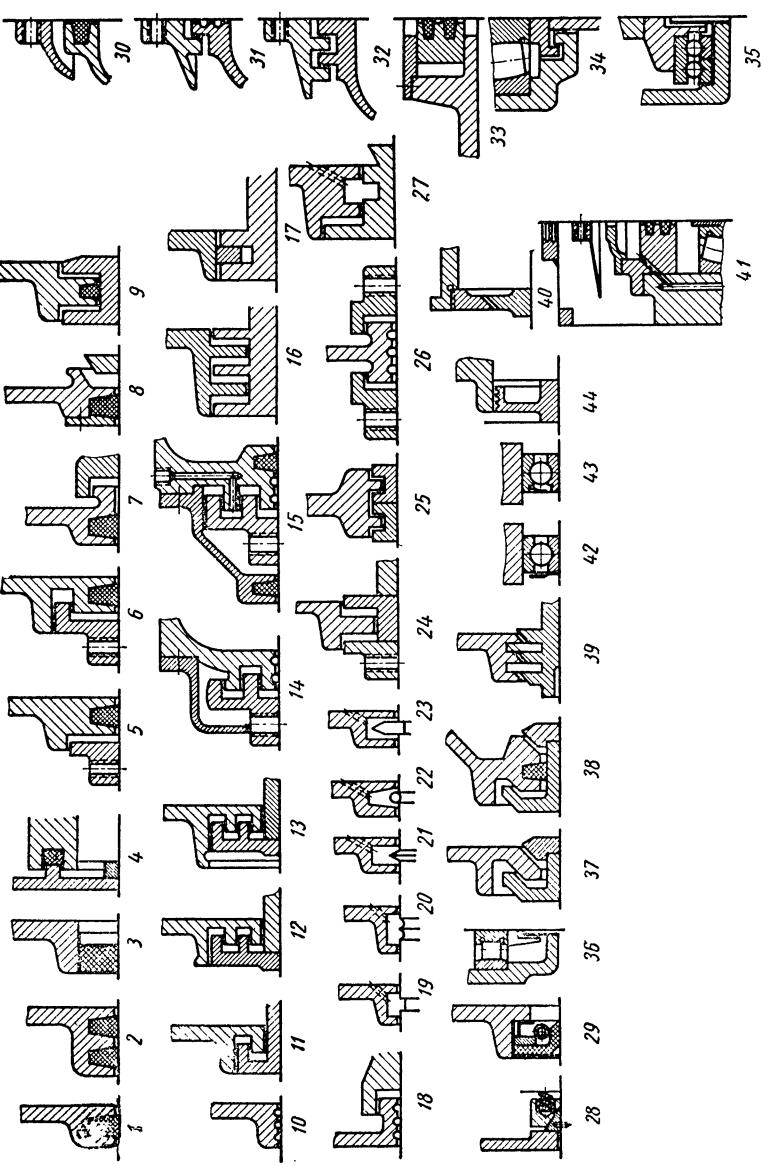
В целях выбора оптимального варианта группы проточек при заданной длине уплотнения целесообразно, руководствуясь указанной выше методикой, сделать ряд вариантов расчетов с изменением S, l и z.

ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ УПЛОТНЕНИЙ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Типовые конструкции уплотнений показаны в табл. 6.

Наиболее распространены уплотнения фетровыми кольцами *1—4*, применяемые для всех простых подшипниковых узлов (например, в трансмиссиях, буксах и т. п.). Эта конструкция используется также в комбинации с другими видами уплотнений, благодаря чему эффективность ее повышается.

6. Уплотнения подшипников



Подшипники расположены направо от уплотнений или под ними, за исключением тех случаев, когда из чертежа видно иное расположение.

Обычно для большей надежности уплотнения устанавливают дополнительное кольцо снаружи непосредственно перед фетровыми кольцами (*5* и *6*), а там, где применяется минеральное масло, устанавливают маслоотражательные кольца по другую сторону колец *7—9*.

Область применения фетровых уплотнений все же ограничена. Так, например, если корпус подшипника цельный и имеет крышку, то использование такого уплотнения затрудняет монтаж. В уплотнении *8* (подшипник вала воздушного винта), чтобы облегчить монтаж пришлось прибегнуть к разъемной канавке для фетрового кольца. При высоких числах оборотов и высокой температуре фетр становится неэластичным и теряет уплотняющие свойства. Фетровые кольца не рекомендуется применять при скоростях, превышающих 5 *м/сек*, когда поверхность вала не шлифована. Если поверхность отшлифована и отполирована, то тогда допустимы скорости до 10 *м/сек*.

Уплотнения, применяемые при консистентной смазке, часто в дополнение к фетровым кольцам имеют лабиринты или проточки.

Типичным примером таких уплотнений являются уплотнения небольших скоростных электродвигателей. *10*. Канавки могут быть узкими или широкими; в последнем случае они могут иметь форму, применяемую при лабиринтных уплотнениях.

Лабиринтные уплотнения выполняются с одним, двумя и бо́льшим числом гребней. При одном гребне в конструкции *11* они применяются вместо фетровых уплотнений. К лабиринтам с двумя гребнями *12* и *13* прибегают только в таких случаях, когда корпус подшипника может заливаться водой или когда в окружающей атмосфере присутствует мелкая абразивная пыль (бумажные машины и шпиндели шлифовальных станков).

В ответственных случаях следует применять уплотнения, состоящие из нескольких элементов, обеспечивая свободный выход всех посторонних веществ, попавших в наружную часть уплотнения.

В конструкции *14* защитой подобного рода является кожух.

В качестве другого примера этого рода можно указать на уплотнение, применяемое в дробилках бумажной массы 15. Это уплотнение предохраняет подшипник от мокрой массы, которой заполнена вся машина во время работы. Набивка заполняется консистентной смазкой, в то время как сам подшипник заливается маслом. Густая смазка вводится через ниппели, а проникшая вода выпускается между наружным фетровым уплотнением и лабиринтом.

Если вода попадает в кожух уплотнения, то консистентная смазка в лабиринте со временем может быть смыта и тогда применяемая смазка эмульгирует с водой.

Лабиринты бывают двух типов: осевые *39* и радиальные *11* и *12*. Каждый из этих типов применяется в зависимости от практических требований и от того, является ли корпус разъемным или нет. Определяющими факторами являются также соображения сборки и частоты разборки. При разрезных корпусах, которые требуют смены смазки, применяют иногда простой радиальный лабиринт *5*, а не конструкцию *6*, так как в таком случае при осмотре подшипника пришлось бы сдвигать уплотняющее кольцо в сторону.

Лабиринт должен быть изготовлен так, чтобы он имел достаточный зазор *16* в направлении любого смещения, которое может произойти в уплотнении. Образующееся при смещении вдоль оси пространство может служить резервуаром для смазки уплотняющих зазоров.

Уплотнения типа поршневых колец *17* представляют также радиальные лабиринты. Их применяют для сравнительно сложных установок.

Преимущество этой конструкции заключается в том, что осевые уплотнительные зазоры между кольцом и втулкой могут обеспечить скользящую посадку.

Когда скорость вращения невелика, фетровые кольца являются почти единственно эффективным способом уплотнения.

Эластичность фетра лучше сохраняется при использовании минерального масла, — этим достигается более надежный контакт между валом и кольцом. При высоких числах оборотов для достижения желаемого эффекта иногда применяют взамен уплотнений небольшие зазоры между корпусом подшипника и валом. Однако нужно следить, чтобы масло не вытекало из корпуса. Этого достигают применением маслоотражательных буртов, которые отбрасывают масло обратно в корпус и способствуют собиранию его в канавке корпуса или крышки. На практике показали хорошие результаты

конструкции *18—23*. От сравнительно простых конструкций, где канавки выточены на валу *19—20*, переходят к более сложным конструкциям в виде буртов или пружинных колец в канавках *21—23*. Эти уплотнения можно применять только при сухой и чистой атмосфере. Уплотнение препятствует здесь только вытеканию масла из корпуса. Для большей надежности этого уплотнения нужно помещать отбойное кольцо с наружной стороны уплотнения для защиты от попадания посторонних тел. Кроме того, там нужно иметь внутреннее маслоотражательное кольцо для устранения вытекания масла из корпуса вследствие подсасывающего действия наружного кольца.

Конструкция *24* снаружи напоминает лабиринтное уплотнение, хотя здесь используется только отбрасывающее действие колец. Это действие еще усиливается, если шайбы выступают на 1—2 *мм* за края корпуса подшипника. Другие конструкции *25—27* являются вариантами тех же устройств и предназначены для разных условий работы.

Важной деталью в уплотнениях для жидкого масла являются канавки *7*, *8* и *26*, препятствующие маслу, пристающему к внутренней стенке корпуса подшипника, вытекать в зазор между отбойным кольцом и валом.

Подобные же канавки в уплотнениях *26* и *12* отводят капли воды, стекающей по наружной стенке корпуса подшипника.

Кожух *13* рекомендуется применять, если вода в большом количестве попадает на корпус подшипника (нижний валок бумажной машины).

Когда кожух только незначительно заливается водой, то уплотнению *12* должно быть дано предпочтение. Лабиринт этого уплотнения обладает таким же отбрасывающим действием, так как вода, текущая по валу, отбрасывается здесь даже более эффективно, чем в конструкции *13*.

В двигателях внутреннего сгорания, при смазке коленчатого вала разбрызгиванием, уплотнение производится кольцом, прижимаемым спиральными пружинами к гладкой плоской поверхности корпуса или крышки подшипника *28*. Кольцо может передвигаться в осевом направлении и вращаться вместе с валом, для чего прикрепляется к валу штифтом. Для этой цели применяют также кожаные манжеты *29*, смазанные консистентной смазкой или маслом и изготовленные без разъема. Они или запрессовываются или просто вкладываются в соответствующее углубление в корпусе. В двигателях внутреннего сгорания этот тип уплотнения является эффективным (при условии действия давления на кожаное кольцо).

Неудобство применения этого манжета заключается в трении, которое при больших скоростях может вызвать повышение температуры, превышающее 90°. Поэтому эти кольца применяются лишь тогда, когда окружная скорость не превышает 10 *м/сек*, а поверхность, с которой кольцо соприкасается, отшлифована.

Для полированных поверхностей предел скорости может быть повышен почти вдвое. При вертикальных валах, если подшипники не находятся в тяжелых условиях, можно также применять фетровые кольца. Повышения их эффективности достигают защитным зонтом *30*. При наличии такого зонта иногда можно обойтись проточками *31*.

Для предохранения подшипников от пыли или воды наружный лабиринтный фланец должен иметь также форму защитного зонта *32*.

В качестве нижнего уплотнения в подшипнике с консистентной смазкой следует применять одно или два фетровых кольца *33*. Наружное кольцо при этом нередко пересыхает и вызывает повышенное трение кольца о шейку вала. Следует заметить, что свободное пространство в корпусе может быть выполнено небольшим, как показано в конструкции *34*, так как далеко не вся смазка нужна подшипнику при работе.

При смазке минеральным маслом надежным уплотнением может служить тонкая трубка, охватывающая вал, находящаяся внутри корпуса и выступающая над уровнем масла. Она изготовляется из листа или трубы и укрепляется развальцовкой или иным способом. Конструкции *35* и *36* подобного рода предназначены для больших электромоторов. Применение фетровых колец сопровождается большей утечкой масла и поэтому здесь не рекомендуется.

Уплотнения *37* и *38* сконструированы для самоустанавливающихся подшипников, ширина их канавок изменяется незначительно даже при большом перекосе, так как канавки образуют конусы, касательные к сферам, центры которых совпадают с центром подшипника.

Уплотнение подшипника паровозной оси *39* обладает еще более высокой спо-

собностью работать при перекосах. То же самое можно сказать и об уплотнении *40* нажимного валка чесальной машины, где канавки описаны по сфере, имеющей общий центр с подшипником. Если расстояние от этого центра до уплотнения велико, то рекомендуется ставить уплотнение *33*, иногда применяемое в ситах и центрифугах. Когда вал при работе подвергается большому осевому смещению, лабиринтные уплотнения не рекомендуются.

Удачное конструктивное уплотнение *41* в этих условиях применяют для промежуточных подшипников мельниц. Вследствие износа мельничного жернова при работе вал верхнего жернова опускается на 30—40 *мм* по отношению к корпусу подшипника, установленному в цилиндрическом отверстии нижнего жернова. Постоянное наличие муки в корпусе подшипника требует эффективной конструкции уплотнения, разделенного на несколько секций, с зонтом и фетровыми кольцами. Главным уплотняющим элементом является глубокая выемка в крышке, всегда заполненная консистентной смазкой.

Это уплотнение можно рекомендовать для дробилок бумажной массы, как и уплотнение *15*.

Часто приходится принимать также меры для защиты подшипника от загрязнений или избытка смазки. Это необходимо для подшипников коробок передач и подач, если шестерни или другие вращающиеся детали станка разбрызгивают масло. Обильная смазка является причиной повышения температуры подшипника, поэтому рекомендуется прикреплять тонкие маслоотбойные кольца возле подшипника *42*. Однако слишком малый зазор между кольцом и подшипником может привести к недостаточной смазке последнего.

Иногда применяют подшипники с защитной шайбой, прикрепленной к наружному кольцу *43*, требующие дополнительного уплотнения простой конструкции. Такие подшипники нуждаются в защитных приспособлениях от разбрызгивания масла, так как они смазываются консистентной смазкой.

Применение конструкции *44* обеспечивает надежное уплотнение для коренных опор двигателей внутреннего сгорания. Уплотнительное кольцо отбрасывает и не допускает проникновение масла в подшипник, в то время как консистентная смазка удерживается в корпусе винтовой канавкой, выточенной на наружной цилиндрической поверхности кольца. Когда вал вращается в рабочем направлении, консистентная смазка отбрасывается назад в кожух.

Глава VII

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

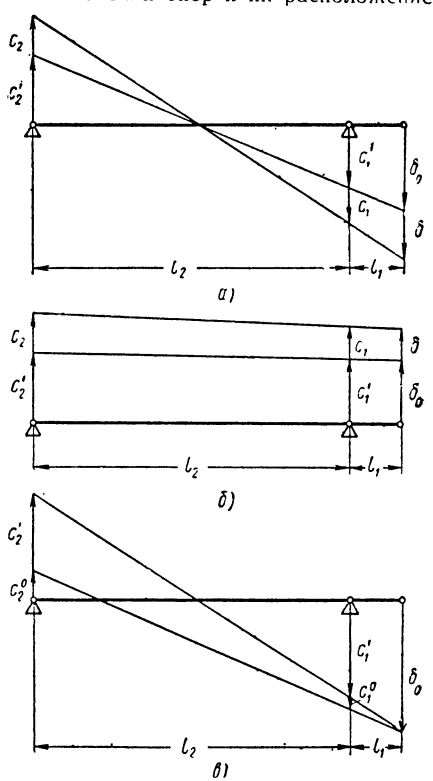
ЗНАЧЕНИЕ КЛАССА ТОЧНОСТИ ДЛЯ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ В СТАНКАХ И ПРИБОРАХ

В машинах, где точность опор имеет особенно важное значение (например, в некоторых станках, приборах и т. д.), применяют подшипники повышенной точности. Точность подшипника определяется в основном радиальным и боковым биением дорожки качения вращающегося кольца. Требования к точности вращения подшипников качения см. ГОСТ 520-55.

Высокая точность подшипников качения еще недостаточна, чтобы обеспечить требуемую точность вращения вала. Для этого, наряду с отсутствием зазоров в подшипниках, необходима прежде всего соосность посадочных поверхностей под все подшипники одного и того же вала и изготовление сопряженных деталей также с высокой точностью. Так, например, при сборке узла даже небольшая неперпендикулярность упорных заплечиков вала и корпуса, а также торцов дистанционных колец, распорных втулок и т. д. может послужить причиной изгиба вала, что, в свою очередь, вызовет вибрацию, а в металлорежущих станках и понижение качества обрабатываемых деталей. Важное значение имеют при этом чистота и культура, которые должны соблюдаться при сборке высокоточных узлов.

Биение переднего конца вала (центрирующего пояска шпинделя) зависит не только от точности подшипников в опорах, но при прочих одинаковых условиях и от относительного углового положения эксцентрицитета внутренних колец в передней и задней опорах. Поэтому отклонения обработанных на станке деталей могут оставаться в пределах установленных норм и в том случае, если воспользоваться подшипниками более низких классов точности, установленными в опорах надлежащим образом.

Расчетное радиальное биение δ шпинделя можно определить геометрически по схемам на фиг. 1, если известны величины биений опор и их расположение.



Фиг. 1. Расчетные схемы для определения радиальных биений шпинделя.

Первый случай. Биения передней и задней опор расположены в одной плоскости и направлены в разные стороны от геометрической оси шпинделя (фиг. 1, *а*).

$$\delta = C_1 + \frac{1}{m}(C_1 + C_2).$$

Второй случай. Биения передней и задней опор расположены в одной плоскости и направлены в одну сторону от геометрической оси шпинделя (фиг. 1, *б*).

$$\delta = C_1 - \frac{1}{m}(C_2 - C_1).$$

Такое расположение биений позволяет повысить точность вращения шпинделя при условии неподвижной посадки вращающихся колец подшипников.

При $\delta = 0$:

$$0 = C_1 - \frac{1}{m}(C_2 - C_1);$$

решая это уравнение, получим

$$C_1 = \frac{C_2}{m+1}; \quad C_2 = C_1(m+1).$$

Подставляя значения C_1 и C_2 в выражение первого случая, находим радиальные биения опор шпинделя:

$$C_1 = \frac{m\delta}{2(m+1)} \text{ и } C_2 = \frac{m\delta}{2}.$$

Здесь δ — радиальное биение переднего конца шпинделя в месте проверки точности его вращения; C_1 — радиальное биение передней опоры шпинделя; C_2 — радиальное биение задней опоры шпинделя;

$$\frac{1}{m} = \frac{l_1}{l_2};$$

l_1 — расстояние от места проверки радиального биения шпинделя до середины передней опоры; l_2 — расстояние между серединами передней и задней опор.

Радиальное биение в опоре шпинделя возникает вследствие неточности изготовления подшипников качения и посадочных мест шпинделя.

Величину неточностей принимают для подшипников $\frac{2}{3}$ и для посадочных мест шпинделя $\frac{1}{3}$ всего поля допуска на радиальное биение опоры. Следовательно,

$$C_1' = \frac{m\delta}{3(m+1)};$$

$$C_2' = \frac{m\delta}{3},$$

где C_1' — радиальное биение подшипника в передней опоре; C_2' — радиальное биение подшипника в задней опоре.

Если в задней опоре шпинделя устанавливается подшипник, у которого допуск C_2^0 на радиальное биение меньше величины C_2' $(C_2' > C_2^0)$, подсчитанного по формуле, то в передней опоре можно установить подшипник с бо́льшим радиальным биением, равным (фиг. 1, *в*)

$$C_1^0 = 2C_1^0 - \frac{C_2^0}{m+1}.$$

Радиальное биение δ_0 переднего конца шпинделя, зависящее только от неточности изготовления подшипников качения, может быть найдено по следующим зависимостям:

$$\delta_0 = C_1' + \frac{1}{m}(C_1' + C_2') \text{ (фиг. 1, } а);$$

$$\delta_0 = C_1' - \frac{1}{m}(C_2' - C_1') \text{ (фиг. 1, } б),$$

при этом

$$\delta = 1{,}5\,\delta_0.$$

Увеличение числа подшипников в опоре позволяет несколько снизить требование к точности вращения подшипников вследствие повышения жесткости узла. В этом случае допускаемое радиальное биение подшипников может быть определено по следующим зависимостям:

в передней опоре

$$C_1' = \frac{m\delta\sqrt{n_1}}{3(m+1)};$$

в задней опоре

$$C_2' = \frac{m\delta\sqrt{n_2}}{3}.$$

Здесь n_1 — число подшипников в передней опоре; n_2 — число подшипников в задней опоре.

Таким образом, радиальное биение δ переднего конца шпинделя в общем виде может быть определено по выражениям:

$$\delta = 1{,}5\left[\frac{C_1'}{\sqrt{n_1}} + \frac{1}{m}\left(\frac{C_1'}{\sqrt{n_1}} + \frac{C_2'}{\sqrt{n_2}}\right)\right]$$

(фиг. 1, *а*);

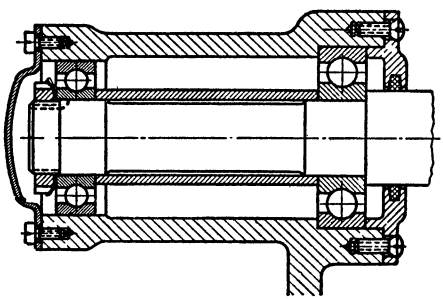
$$\delta = 1{,}5\left[\frac{C_1'}{\sqrt{n_1}} - \frac{1}{m}\left(\frac{C_2'}{\sqrt{n_2}} - \frac{C_1'}{\sqrt{n_1}}\right)\right]$$

(фиг. 1, *б*).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПОДШИПНИКОВ

Радиальные однорядные шарикоподшипники

Если условия работы подшипника относительно не тяжелы и осевая нагрузка не велика и если при этом особо точная



Фиг. 2. Установка радиальных однорядных шарикоподшипников в корпусе с фиксацией вала одним из подшипников.

фиксация вала также не является необходимой, следует всегда выбирать шарикоподшипник радиальный однорядный.

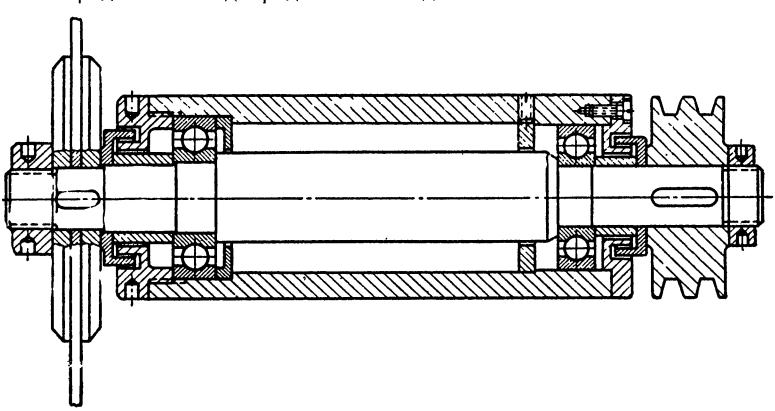
пускается в узле некоторая осевая игра вала или корпуса, радиальные шарикоподшипники можно устанавливать парными комплектами, как показано на фиг. 5.

Подшипники в данной конструкции жестко закреплены в осевом направлении как на оси, так и в расточке корпуса (колеса).

Так как корпус вращается, то посадка подшипников в нем осуществляется с натягом, а на оси — с незначительным зазором, соответствующим скользящей посадке C.

Во избежание заклинивания тел качения, ширина дистанционных колец, устанавливаемых в опоре между подшипниками на оси и в корпусе, должна быть одинаковой; для этого рекомендуется торцы колец шлифовать с одного установа.

Применение дистанционного кольца на оси облегчает сборку узла, так как в этом случае отпадает необходимость точной регулировки зазора «плавания», что в условиях эксплуатации иногда затруднено. Шарикоподшипники широко применяют в узлах в комбинации с роликоподшипниками типа 2000 и 32000 и с шарикоподшипниками упорными одинарными и двойными типа 8000 и 38000.



Фиг. 3. Установка радиальных однорядных шарикоподшипников в корпусе дисковой пилы с фиксацией вала одним из подшипников.

Радиальные шарикоподшипники можно применять в узлах как с фиксирующими, так и с «плавающими» опорами (фиг. 2, 3), а также устанавливать в сквозном отверстии корпуса в распор (фиг. 4).

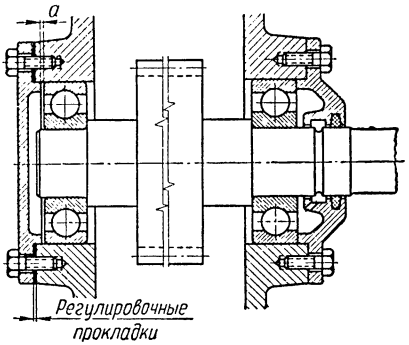
При действии на опору значительной радиальной нагрузки, а также когда до-

К перекосам осей вала или корпуса шарикоподшипник менее чувствителен, чем роликовые подшипники.

По сравнению с подшипниками других типов шарикоподшипники обладают наименьшим коэффициентом трения.

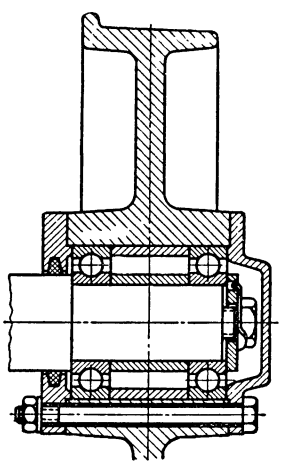
Кроме того, необходимо иметь в виду, что шарикоподшипники радиальные од-

норядные являются наиболее дешевыми по сравнению с подшипниками других конструкций.



Фиг. 4. Установка радиальных однорядных шарикоподшипников в распор в корпусе со сквозной расточкой.

В случае ударных нагрузок, а также в тех случаях, когда кратковременно действуют значительные нагрузки, шарикоподшипники применять не рекомендуется.



Фиг. 5. Установка парного комплекта радиальных однорядных шарикоподшипников в сквозном отверстии ходового колеса.

Шарикоподшипники обычно менее требовательны в отношении смазки и ухода, поэтому они рекомендуются для установки в машинах, обслуживаемых малоквалифицированным персоналом или работающих в условиях, при которых повторная смазка и осмотр подшипников затруднены или вообще невозможны.

Конструкции типовых узлов с однорядными радиальными шарикоподшипниками приведены на фиг. 2—5.

Радиальные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами

Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами часто устанавливают в сочетании с подшипниками других типов, воспринимающих постоянную осевую нагрузку (фиг. 6—8).

Их не следует применять в узлах машин, допускающих относительный перекос наружного и внутреннего колец.

В связи с этим роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами следует применять в узлах машин с жесткими короткими валами, почти не имеющими прогиба под действием внешних нагрузок.

Благодаря разборной конструкции роликоподшипники более удобны для монтажа, чем шарикоподшипники.

Выбор разновидности роликоподшипников зависит от конструктивной особенности подшипникового узла и требований, предъявляемых к монтажу последнего.

Подшипники типов 2000 или 32000 применяют в узлах машин только в «плавающей» опоре вала, так как они не имеют бортов на одном из колец.

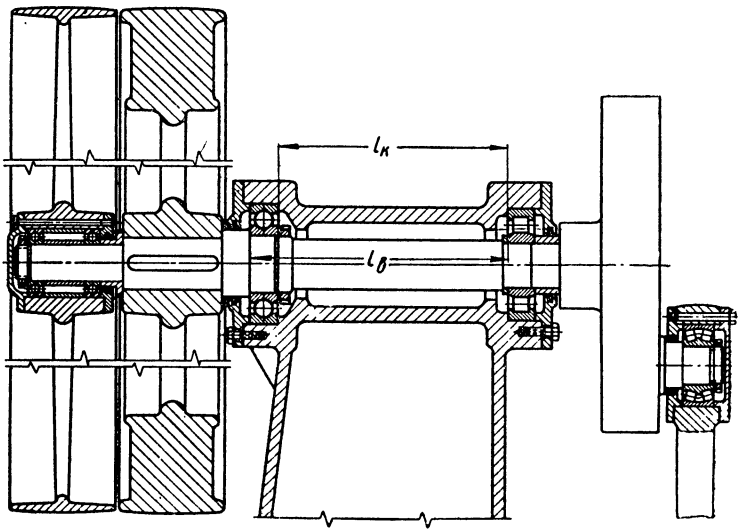
В другой опоре обязательно должен быть применен подшипник, фиксирующий положение вала относительно корпуса.

Для устранения осевых смещений внутреннего кольца подшипника относительно наружного необходимо в чертежах назначать допускаемые отклонения на размеры l_b и $l_к$ (фиг. 6).

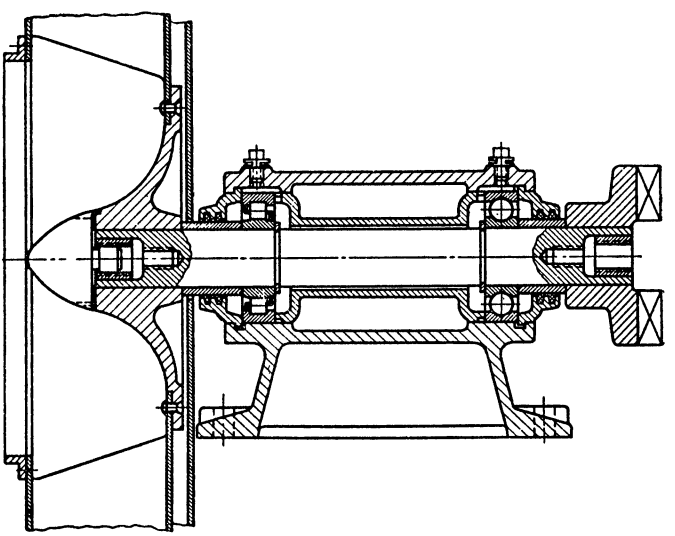
Подшипники должны крепиться в осевом направлении как на валу, так и в расточке корпуса.

Подшипники типа 42000 применяют в узлах машин, требующих фиксации вала только в одном направлении. Для фиксации вала относительно корпуса в обоих направлениях эти подшипники почти всегда ставят парами — по одному в каждой из двух опор вала (фиг. 9), либо два в одной опоре через промежуточные втулки (фиг. 10).

Для компенсации теплового удлинения вала и предотвращения заклинивания роликов, между наружным кольцом



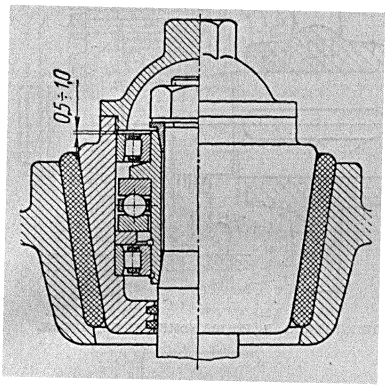
Фиг. 6. Установка однорядного шарикоподшипника и радиального роликоподшипника в корпусе привода качающегося конвейера.



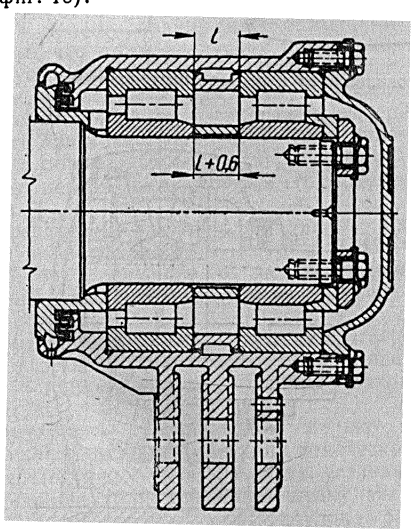
Фиг. 7. Установка однорядного шарикоподшипника и радиального роликоподшипника в разъемном корпусе вентилятора.

одного из подшипников и торцом крышки оставляется зазор 0,5—1 *мм* (фиг. 9).

Для устранения возможности перетяжки двух подшипников в опоре, рекомендуется между ними устанавливать по валу и корпусу промежуточные втулки, отличающиеся по длине на 0,5—0,7 *мм* (фиг. 10).



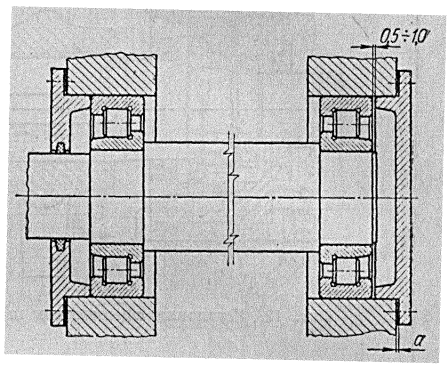
Фиг. 8. Установка радиальных роликоподшипников и одинарного упорного шарикоподшипника в корпусе центрифуги.



Фиг. 10. Установка в корпусе железнодорожной буксы двух роликовых подшипников.

Подшипники типа 62000 и 92000 применяют в узлах машин, требующих фиксации вала в корпусе в обоих направлениях (фиг. 11).

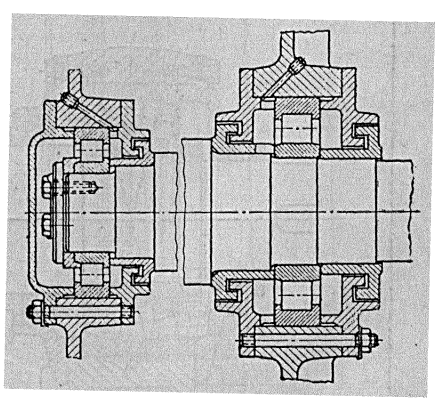
Роликоподшипники типов 42000, 62000 и 92000 допускают лишь небольшие кратковременные осевые нагрузки.



Фиг. 9. Установка роликоподшипников типа 42000 в распор в сквозном отверстии корпуса: *а* — регулировочные прокладки.

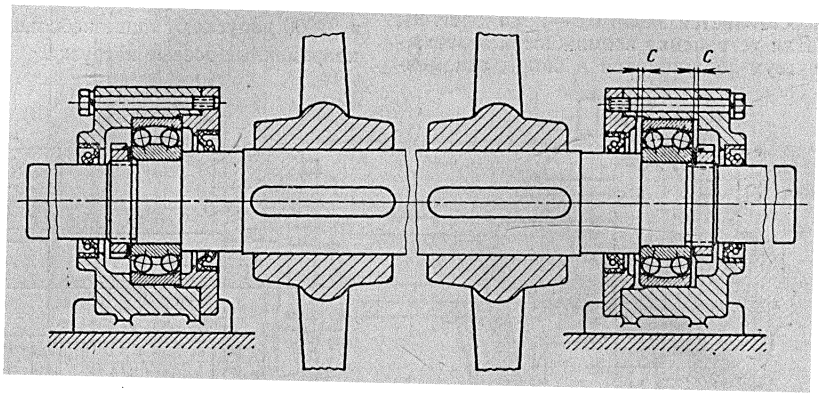
Радиальные сферические шарико- и роликоподшипники

Сферические подшипники применяются в таких узлах машин, где может быть несоосность посадочных мест (например, при установке подшипников в отдельно стоящих корпусах), а также прогибы вала под нагрузкой при больших расстояниях между опорами.

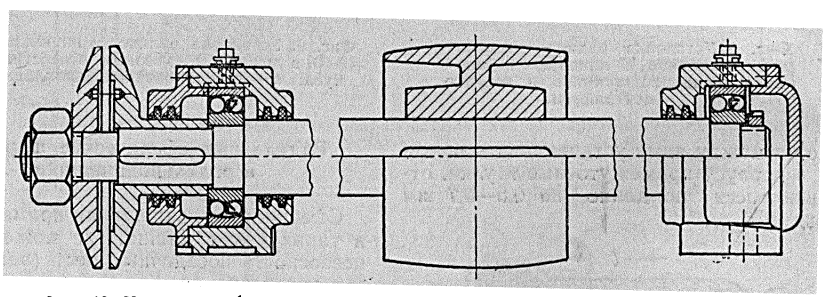


Фиг. 11. Установка радиальных роликоподшипников в электродвигателе с фиксацией вала одним из подшипников.

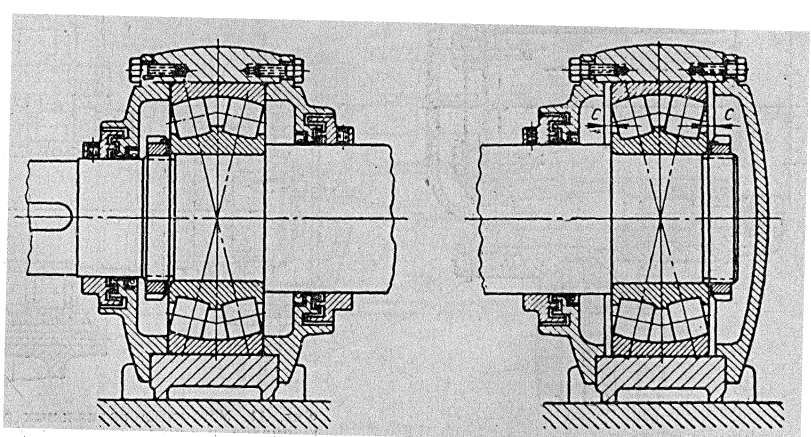
Хотя допустимый перекос подшипника ограничен тем, что тела качения не должны касаться кромки дорожки качения



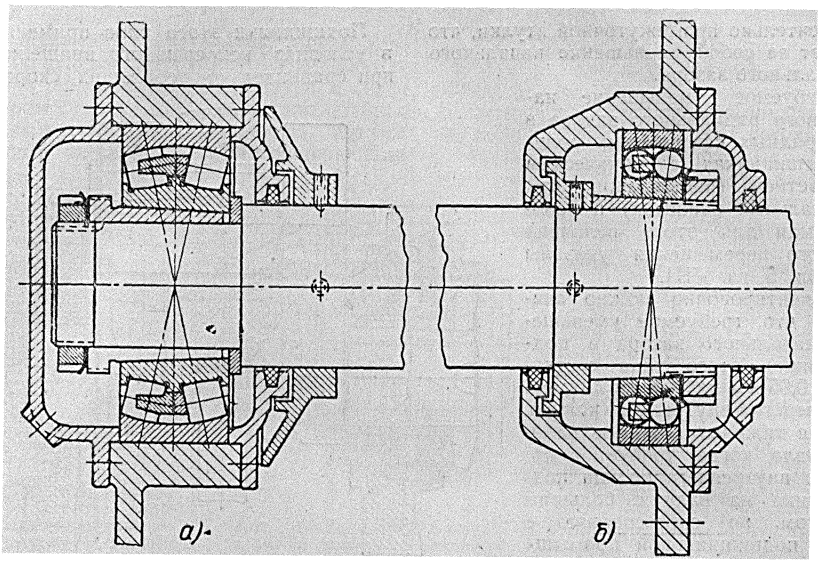
Фиг. 12. Установка сферических шарикоподшипникоз в неразъемных корпусах.



Фиг. 13. Установка сферических шарикоподшипников в неразъемных корпусах.



Фиг. 14. Установка сферических роликоподшипников в разъемных корпусах.



Фиг. 15. Установка многоопорного вала на сферических подшипниках: *а)* подшипник на закрепительно-стяжной (буксовой) втулке; *б* — подшипник на закрепительной втулке.

наружного кольца, имеющейся ширины сферического желоба достаточно для компенсации встречающихся на практике смещений и деформаций.

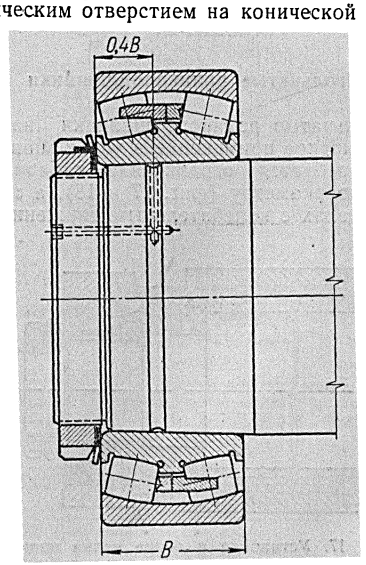
При проектировании необходимо учитывать, что даже в случаях применения самоустанавливающихся типов подшипников достижимая соосность корпусов многоопорного вала должна быть выдержана; практически допустим лишь некоторый поворот того или иного корпуса вокруг центра самоустановки его подшипника.

Сферические роликоподшипники типа 3000 имеют наибольшую грузоподъемность по сравнению с любым типом подшипника соответствующих габаритов.

Подшипники с цилиндрическим отверстием обычно устанавливают на концевых цилиндрических шейках валов (фиг. 12—14).

Двухрядные сферические шарико- и роликоподшипники, имеющие коническое отверстие у внутреннего кольца, устанавливают на цилиндрическую шейку вала с помощью промежуточных втулок — закрепительной или закрепительно-стяжной (буксовой), (фиг. 15), либо, если посадочная шейка имеет коническую форму, — непосредственно на эту шейку без применения промежуточных втулок (фиг. 16).

Характер посадки подшипников с коническим отверстием на конической шейке вала определяется величиной осевого перемещения внутреннего кольца подшипника относительно шейки вала или



Фиг. 16. Установка сферического роликоподшипника с коническим отверстием на коническую шейку вала.

относительно промежуточной втулки, что влечет за собой уменьшение начального радиального зазора.

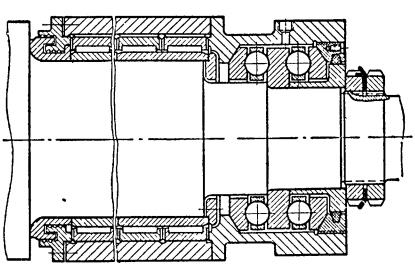
Требуемое уменьшение начального радиального зазора в двухрядных сферических роликоподшипниках с коническим отверстием (работающих при нормальных режимах) и необходимая для этого величина осевого перемещения указаны в табл. 5, гл. VIII.

Ориентировочно можно считать, что требуемое уменьшение начального зазора в подшипниках этого типа составляет 0,05 *мм* на 100 *мм* диаметра отверстия внутреннего кольца.

Для тяжелых режимов работы узла, когда требуется посадка внутреннего кольца подшипника на валу с большим натягом, по согласованию с ЦКБ подшипниковой промышленности применяют подшипники с увеличенным начальным радиальным зазором, соответствующим дополнительным рядам ведомственной нормали (см. табл. 31 и 32, гл. IV).

Игольчатые роликоподшипники

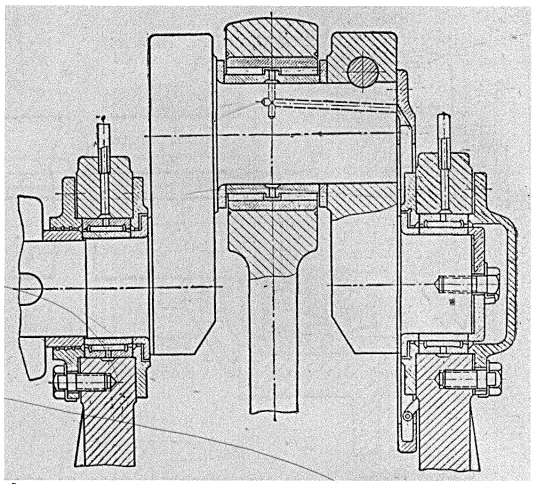
Игольчатые роликоподшипники находят широкое применение в узлах машин, где требуется ограничение габаритов опор по диаметру (фиг. 17 и 18), а также в узлах с колебательным движением.



Фиг. 17. Установка в опоре валка прокатного стана игольчатых подшипников в комбинации с двойным упорным шарикоподшипником.

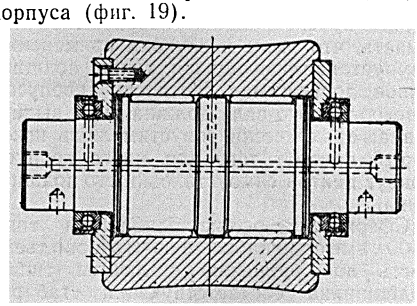
Для обеспечения надежной работы подшипников их смазку в узлах с колебательным движением необходимо производить жидким минеральным маслом.

Подшипники этого типа применяют и в условиях непрерывного вращения, но при сравнительно небольших скоростях.



Фиг. 18. Установка игольчатых подшипников в опорах коленчатого вала насоса.

В практике машиностроения встречаются также подшипниковые узлы со свободными иглами, помещенными между посадочными поверхностями вала (оси) и корпуса (фиг. 19).

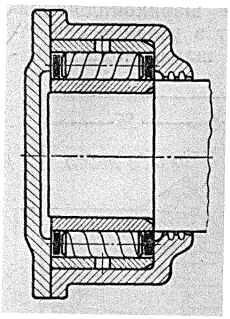


Фиг. 19. Установка свободных игл во вращающемся ролике транспортного рольганга.

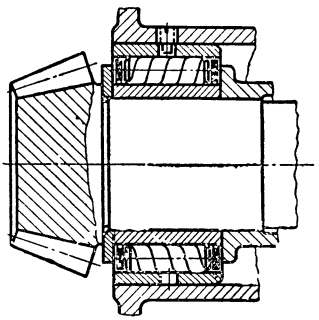
Роликоподшипники с витыми роликами

Роликоподшипники с витыми роликами получили некоторое применение в узлах сельскохозяйственных машин, а также в малоответственных узлах металлургического оборудования, не требующих точного вращения. Подшипники этого типа обладают пониженной радиальной грузоподъемностью и, кроме того, они не могут работать при повышенных числах оборотах. Эти подшип-

ники применяют для восприятия радиальных нагрузок только в «плавающих» опорах вала. Комплект роликов с сепаратором должен предохраняться с обеих сторон от осевого перемещения, причем упорные поверхности, ограничивающие



Фиг. 20. Конструкция опоры с витым роликоподшипником и неподвижными упорными поверхностями корпуса и крышки.



Фиг. 21. Конструкция опоры с витым роликоподшипником и вращающимися упорными поверхностями.

это перемещение, должны находиться или только на корпусе подшипника и торцовой крышке (фиг. 20) или же только на деталях, вращающихся вместе с валом (фиг. 21).

Внутренние удлиненные кольца роликоподшипников с витыми роликами, устанавливаемые на гладких валах по свободным посадкам, предохраняются дюбелями от проворачивания и осевых смещений относительно вала.

Радиально-упорные шарикоподшипники

Радиально-упорные шарикоподшипники весьма чувствительны к перекосам посадочных мест вала или корпуса.

Эти шарикоподшипники обычно ставят парами — по одному в каждую из двух опор вала, либо два в одной опоре. При установке без предварительного натяга они допускают регулирование осевой игры в нужных пределах как во время монтажа, так и в процессе эксплуатации.

Конструкции опор с радиально-упорными шарикоподшипниками представлены на фиг. 22—26.

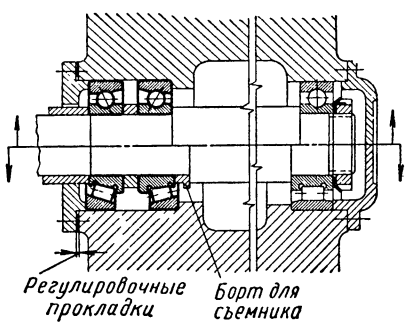
При одинаковом расстоянии B между средними плоскостями внутренних колец подшипников (фиг. 25) и прочих равных условиях расположение подшипников в нижней «плавающей» опоре позволяет достигнуть большей ее жесткости.

При обратной установке подшипников жесткость фиксирующей верхней опоры будет ниже.

Схема установки шарикоподшипников предопределяет характер их регулировки.

Установка подшипников по схеме фиг. 22 предусматривает регулировку подшипников через наружные кольца, а по схеме фиг. 26 регулировка производится через внутренние кольца. Для того чтобы имелась возможность произвести регулировку подшипников через внутренние кольца, последние должны иметь скользящую или в крайнем случае плотную посадку на валу.

Конструкцию узла, изображенную на схеме фиг. 15 гл. IV, рекомендуется применять только для подшипников типа 36000 с углом контакта $\beta = 12°$, причем расстояние между подшипниками не следует выбирать в этом случае бо́льшим, чем это указано в табл. 24, гл. IV для каждого интервала внутренних диаметров.



Фиг. 22. Установка в фиксирующей опоре вала радиально-упорных подшипников с регулировкой осевой игры через наружные кольца.

При невыполнении этого условия конструкция узла должна быть принята по схеме фиг. 22.

При разности температур нагрева вала и корпуса свыше 20° подшипники с углом контакта $\beta = 12°$ не рекомендуется устанавливать по схеме фиг. 15, гл. IV, — в этом случае надежнее схема, показанная на фиг. 22.

Пару подшипников типа 46000 или 66000 с углом контакта $\beta = 26 \div 40°$

следует устанавливать с одной стороны вала, т. е. по схеме фиг. 22.

Радиально-упорные шарикоподшипники иногда применяют для восприятия чисто осевой нагрузки.

Шарикоподшипники с углом контакта 12° и 26° применяются при наличии небольшой осевой нагрузки в комбинации с радиальной. Выбор подшипников с углом контакта больше 26° производится при значительных осевых нагрузках и небольших радиальных нагрузках.

Для прецизионных шпинделей шлифовальных и алмазно-расточных станков, у которых внешние осевые нагрузки обычно незначительны, основное значение имеет радиальная жесткость подшипников. Следовательно, наиболее часто применяются в этих случаях подшипники с небольшим углом контакта.

Подшипники с бо́льшим углом контакта ($\beta > 26°$) обеспечивают максимальную осевую жесткость, но вместе с тем такая конструкция ограничивает пригодность подшипника к работе при высоких числах оборотов вследствие повышенного скольжения, вызываемого гироскопическим эффектом.

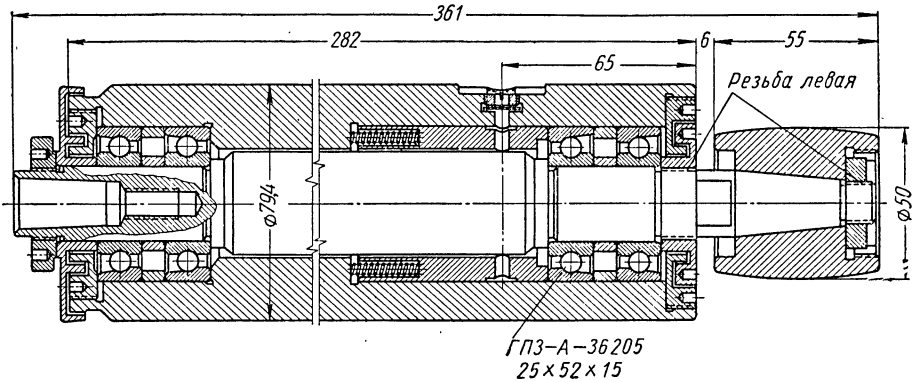
С увеличением угла контакта неточность вращения и скольжение при повышенных скоростях быстро возрастают.

Подшипники с бо́льшим углом контакта имеют соответственно меньшую радиальную жесткость, чем подшипники с малым углом контакта.

Парная установка подшипников в опоре позволяет осуществить предварительный натяг в комплекте, осуществляемый различными методами.

Подшипниковые узлы с радиально-упорными шарикоподшипниками, воспринимающими комбинированные нагрузки, технологичны в изготовлении и имеют минимальное количество рабочих деталей.

Радиально-упорные шарикоподшипники иногда применяют в узлах в сочетании с радиальными шарикоподшипника-



Фиг. 23. Установка сдвоенных радиально-упорных шарикоподшипников во внутришлифовальной головке (типа ВШ-3, n_{max} = 18000 об/мин).

ми типа 0000 и роликоподшипниками типа 2000 и 32000.

Радиально-упо́рные шарикоподшипники с углом контакта 26° или 40° в узлах с повышенными скоростями вращения успешно заменяют как одинарные, так и двойные упорные шарикоподшипники, хотя осевая жесткость последних выше.

Разъемные радиально-упорные шарикоподшипники типа 6000 (магнетные) широко применяют для быстроходных механизмов.

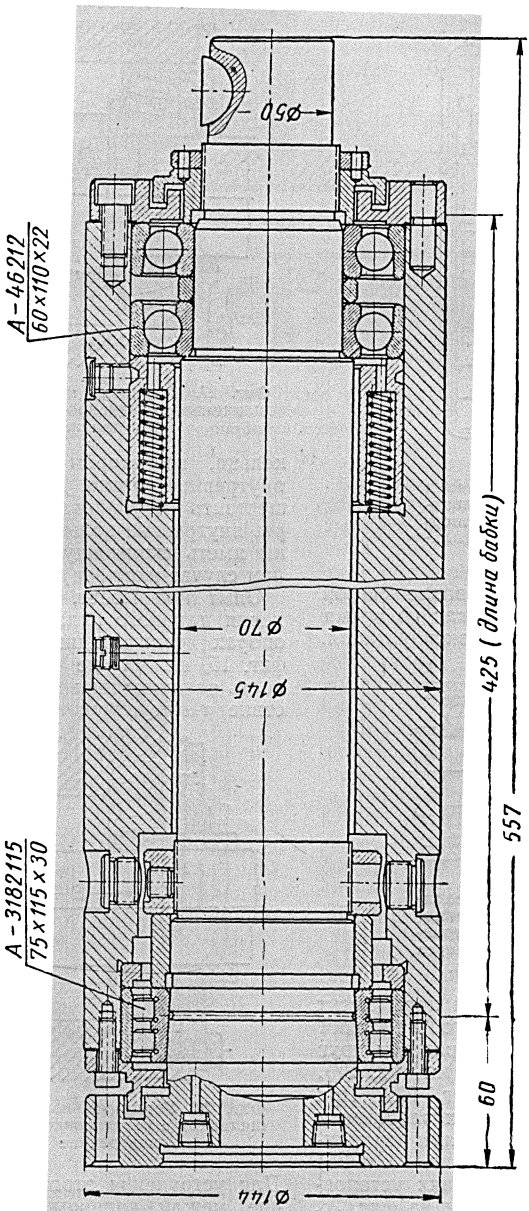
Углы контакта у таких подшипников около 12°, их применяют главным образом при наличии небольших радиальной и осевой нагрузок и высокой скорости вращения.

Конические однорядные роликоподшипники

Конические роликоподшипники производят при работе более сильный шум, чем подшипники с цилиндрическими роликами и шариковые.

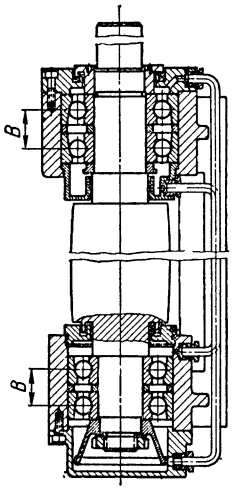
Подшипники этого типа весьма чувствительны к перекосам посадочных мест вала или корпуса.

Обычно эти роликоподшипники ставят парами по одному в каждой из двух



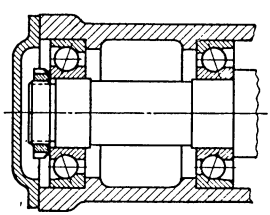
Фиг. 24. Установка радиально-упорных шарикоподшипников в фиксирующей опоре шпинделя алмазно-расточной головки (типа АРГ-145/570, n = 3000 об/мин).

опор вала (фиг. 15, гл. IV), либо два в одной опоре (фиг. 22).



Фиг. 25. Установка сдвоенных радиально-упорных шарикоподшипников в шлифовальной головке.

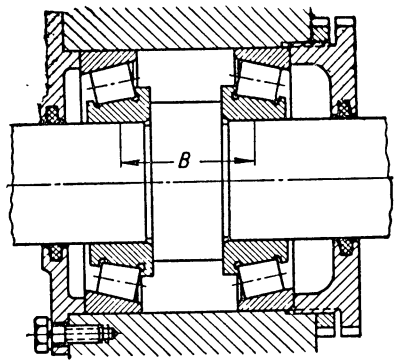
Они допускают регулирование осевой игры в нужных пределах как во время монтажа, так и в процессе эксплуатации.



Фиг. 26. Установка радиально-упорных шарикоподшипников с регулировкой осевой игры через внутренние кольца.

Роликоподшипники одной пары могут быть установлены так, чтобы ролики обоих подшипников были обращены друг к другу либо широкими (фиг. 22, 27), либо узкими торцами (фиг. 28). При одинаковом в обоих случаях расстоянии *B* между средними плоскостями внутренних колец подшипников (фиг. 27 и 28) и одинаковых прочих условиях установка подшипников, показанная на фиг. 28, позволяет достигнуть большей жесткости опоры.

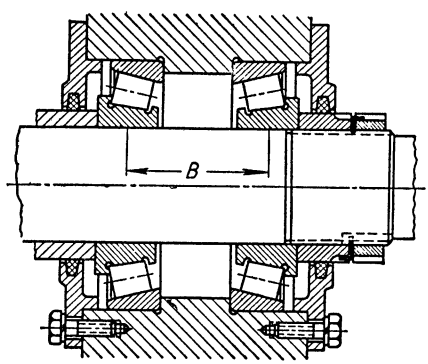
Способ установки роликоподшипников определяет характер их регулировки. В первом случае (фиг. 22, 27) роликоподшипники регулируются через наружные



Фиг. 27. Установка конических роликоподшипников с регулировкой осевой игры через наружные кольца.

кольца, во втором (фиг. 28) — через внутренние кольца. Для того чтобы осуществить регулировку подшипников через внутренние кольца, последние должны иметь скользящую посадку (в крайнем случае плотную) на валу.

Опыт показывает, что в случае применения длинного вала и установки в его опорах роликоподшипников по схеме фиг. 15, гл. IV не исключена возможность заклинивания подшипников вследствие температурного удлинения вала.



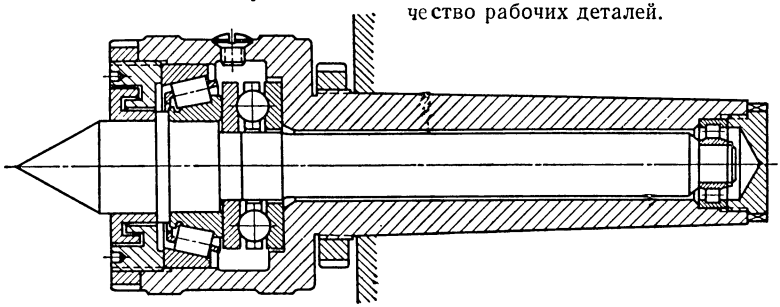
Фиг. 28. Установка конических роликоподшипников с регулировкой осевой игры через внутренние кольца.

Для устранения этого явления расстояние между подшипниками не следует выбирать бо́льшим, чем это указано для каждого интервала внутренних диамет-

ров в табл. 25, гл. IV, или же необходимо изменить конструкцию опор в соответствии со схемой фиг. 22, где предусмотрены фиксирующая и «плавающая» опоры вала. Кроме того, не рекомендуется подшипники с большим углом кон-

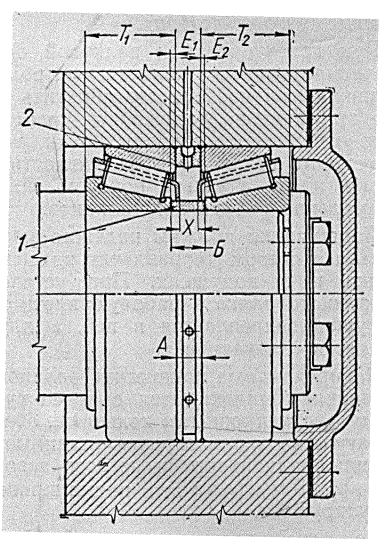
Конические роликоподшипники иногда применяют и в узлах для восприятия только радиальных нагрузок (фиг. 29).

Подшипниковые узлы с коническими роликоподшипниками технологичны в изготовлении и имеют минимальное количество рабочих деталей.



Фиг. 29. Установка в фиксирующей опоре вращающегося центра станка однорядного конического роликоподшипника в комбинации с одинарным упорным шарикоподшипником.

такта $\beta = 26°—30°$ устанавливать по схеме фиг 15, гл. IV. При разности температур нагрева вала и корпуса свыше



Фиг. 30. Установка в одной опоре парного комплекта однорядных конических роликоподшипников.

20° С конические роликоподшипники также не следует устанавливать по этой схеме. В этом случае подшипники устанавливаются по схеме фиг. 22.

В практике машиностроения встречаются случаи установки в одной опоре парного комплекта однорядных конических роликоподшипников, ролики которых обращены один к другому узкими торцами (фиг. 30).

Установка и эксплуатация таких комплектов сложна, поэтому к подобной компановке подшипниковых узлов не следует прибегать без крайней необходимости.

Нормальный срок службы конических роликоподшипников в значительной степени зависит от правильности регулирования осевой игры в парном комплекте. Опыт эксплуатации показывает, что в большинстве случаев преждевременное разрушение конических роликоподшипников этого типа связано с нарушением данного условия.

Требуемая начальная осевая игра в парном комплекте однорядных подшипников в основном достигается правильным выбором ширины $Б$ дистанционного кольца *1* (фиг. 30), устанавливаемого между торцами внутренних колец подшипников.

Окончательную ширину дистанционного кольца *1* определяют по формуле

$$Б = A + E_1 + E_2 + S_0,$$

где: A — ширина дистанционного кольца *2*, устанавливаемого между торцами наружных колец подшипников; E_1 и E_2 — величины смещения торцов внутренних

колец относительно торцов наружных колец в каждом подшипнике.

Ширину A дистанционного кольца 2 (фиг. 30) выбирают по конструктивным соображениям. Минимальное значение ширины A должно обеспечить необходимый зазор X между торцами сепараторов обоих подшипников.

В зависимости от габаритных размеров подшипников отклонение ширины T по ГОСТ 333-55 и ГОСТ 7260-54 допускается в пределах 0,5—2,0 *мм*, поэтому обычно величина E_1 отличается от величины E_2.

Значения начальной осевой игры в парных комплектах однорядных конических роликоподшипников приведены в табл. 33, гл. IV.

Четырехрядные конические роликоподшипники

Широкое распространение четырехрядные конические роликоподшипники получили в тяжелом машиностроении благодаря их повышенной грузоподъемности. Эти подшипники преимущественно применяют в опорах валков прокатного оборудования.

Посадка подшипников на шейку валка производится с некоторым зазором, поэтому в процессе работы наблюдается взаимная обкатка посадочных поверхностей валка и подшипника.

Для предотвращения образования задиров и навальцовывания металла при взаимной обкатке, на монтажных поверхностях (посадочная шейка вала) под дистанционным кольцом подшипника предусматривают проточку. Кроме того, при значительных окружных скоростях рекомендуется предусматривать принудительный подвод смазки между посадочными поверхностями шейки вала и внутренних колец подшипника (фиг. 31).

Расположение каналов на шейке валка и их размеры приведены на фиг. 31 и в табл. 1.

1. Размеры каналов на валке для принудительной смазки в *мм*

Диаметр шейки валка		$d_в$	$d_к$
свыше	до		
—	150	6	1,5
180	200	7	1,5
200	300	8	2
310	400	9	2,5
410	—	10	3

На посадочной поверхности отверстия подушки также должны предусматриваться кольцевые проточки под дистанционными кольцами подшипника. Размеры проточек и их расположение приведены в табл. 8 и на фиг. 31.

Для уменьшения износа сопрягаемых с внутренним кольцом подшипника торцов деталей (бандаж и дистанционная втулка) необходимо указать в чертеже их термическую обработку до *HRC* 40—45 на глубину не менее 3 *мм*. Кроме того, для смазки трущихся поверхностей на торцах этих деталей предусматривают радиальные пазы.

При проектировании торцовых крышек, сопрягаемых с четырехрядными коническими роликоподшипниками, необходимо учитывать отрицательное отклонение $-\Delta B$ ширины подшипника, значения которого даны в табл. 8.

Минимальный размер K между крышкой и подушкой должен быть равен 3 *мм* (фиг. 31).

Для защиты подшипников от попадания в них воды и окалины между фланцем торцовой крышки и подушкой устанавливают прокладку из маслостойкой резины круглого сечения.

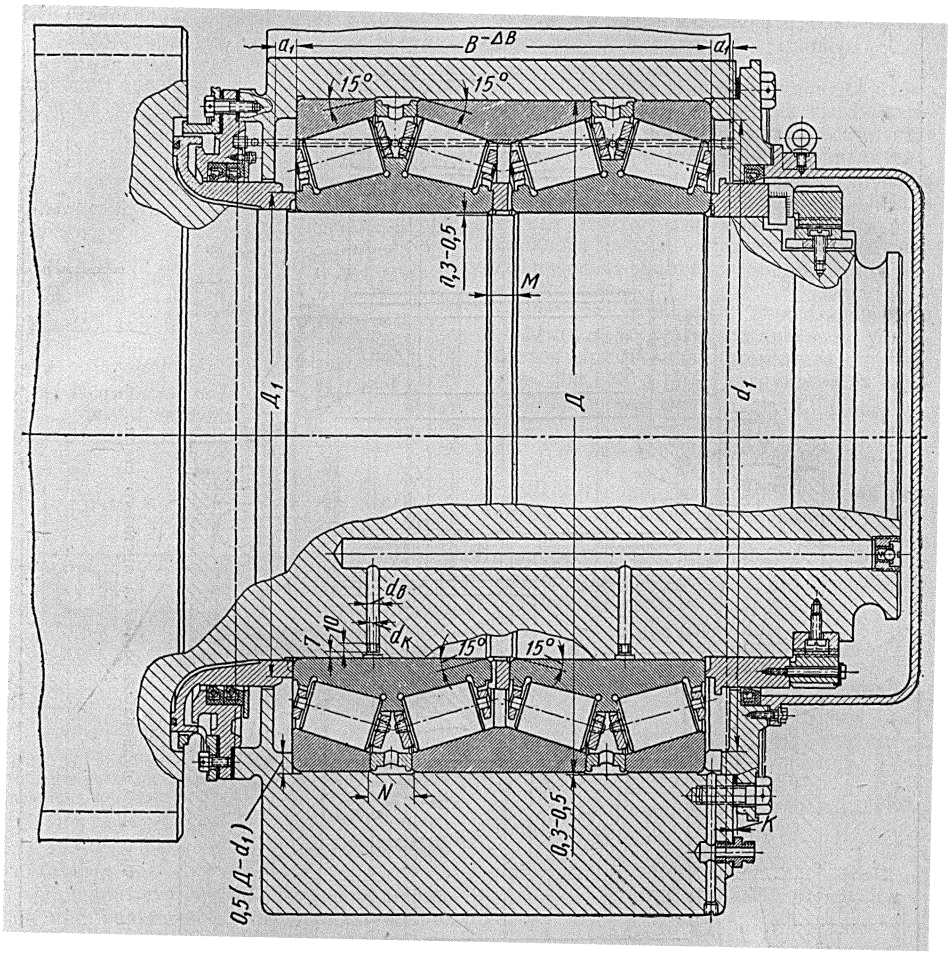
При проектировании валковой опоры с четырехрядным коническим роликоподшипником необходимо обратить особое внимание на надежность уплотняющих устройств со стороны бочки валка прокатного стана, от эффективности которых здесь главным образом зависит нормальная работа подшипников.

Подшипники должны надежно закрепляться в осевом направлении на шейках валка и в подушках. При установке собранного валка в рабочую клеть одна подушка закрепляется в ней, а другая является «плавающей».

Четырехрядные конические роликоподшипники комплектуются с промежуточными дистанционными кольцами, обеспечивающими в них заранее заданные величины радиального и осевого зазоров. Во время монтажа эти подшипники не регулируются.

По мере увеличения осевой игры в процессе эксплуатации этих подшипников, регулировка производится подшлифовкой дистанционных колец.

Для станов с высокой скоростью прокатки металла (v = 25 30 *м/сек*) обычными посадками (с зазором) подшипников на валок не обеспечивается нормальная работа опор вследствие интенсивно-



Фиг. 31. Опора опорного валка листового стана.

го износа посадочных поверхностей. Поэтому создана конструкция четырехрядного конического роликоподшипника с коническим отверстием. Характер посадки такого подшипника определяется величиной осевого перемещения внутренних колец относительно конической шейки валка.

Применение давления масла для снятия подшипника с шейки валка или его напрессовки позволяет сравнительно быстро производить перевалку валков.

Смазка подшипника здесь производится жидким минеральным маслом.

Конструкция валковой опоры представлена на фиг. 32.

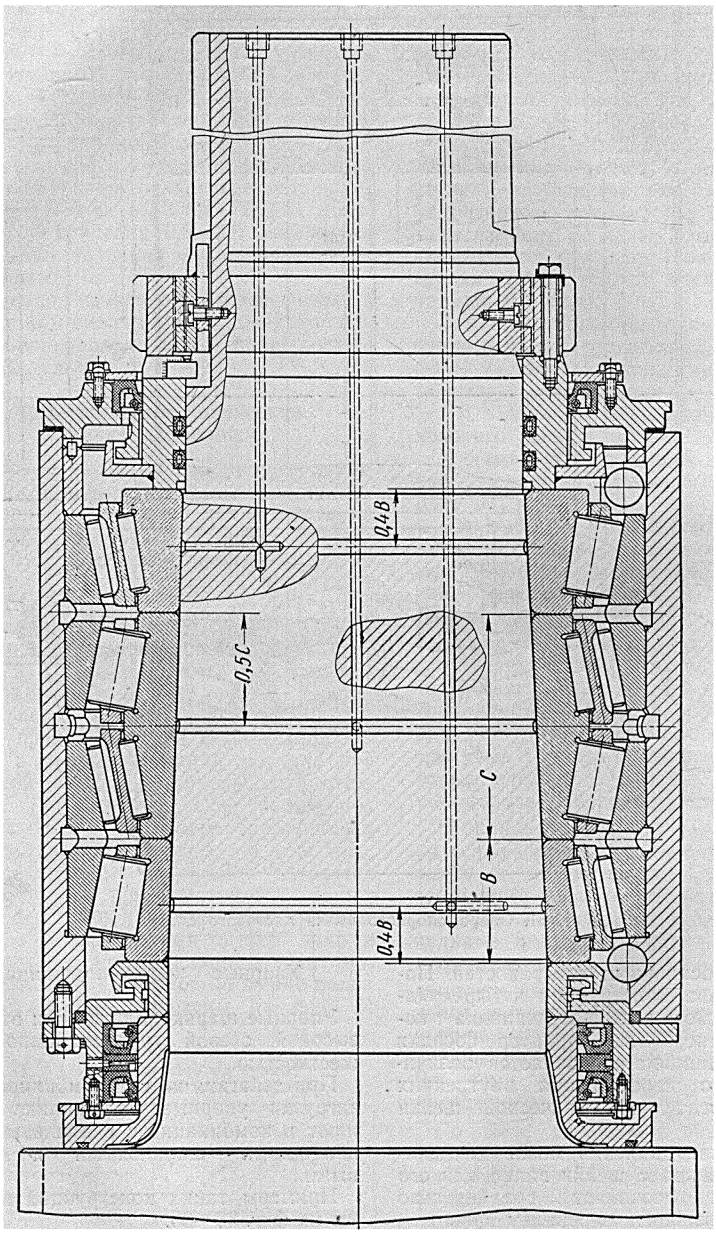
Упорные шарикоподшипники

Упорные шарикоподшипники обладают высокой осевой грузоподъемностью и жесткостью.

При действии на вал комбинированной нагрузки упорные подшипники применяют в комбинации с радиальными подшипниками — шариковыми и роликовыми.

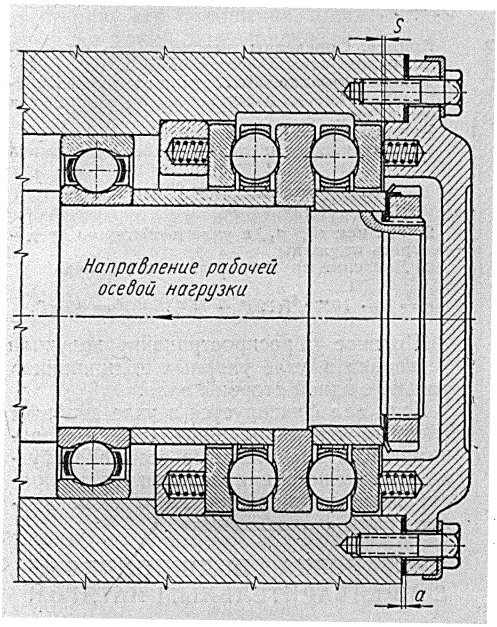
Примеры таких конструкций приведены на фиг. 33—35.

Конструкции опор с упорными шарикоподшипниками, получившие наибольшее распространение, представлены на фиг. 33 и 34.



Фиг. 32. Опора рабочего валка листового стана.

Регулирование осевой игры в подшипниках производится комплектом регулировочных металлических прокладок и торцовой крышкой, при этом тугие кольца подшипников могут быть установлены



Фиг. 33. Установка двойного упорного шарикоподшипника на горизонтальном валу с применением комплекта пружин: S — осевая игра; a — регулировочные прокладки.

на вал или втулку с требуемым посадочным натягом.

Одинарные упорные шарикоподшипники применяют в фиксирующих опорах валов (фиг. 34) различных механизмов в тех случаях, когда отсутствует по тем или иным причинам двойной упорный шарикоподшипник необходимых размеров.

Регулирование осевой игры в упорных шарикоподшипниках посредством резьбовых гаек в процессе сборки или эксплуатации узла представляет известные трудности, так как в этом случае необходимо перемещать тугое кольцо, установленное с натягом, по шейке вала.

В связи с этим конструкция, представленная на фиг. 35, применяется сравнительно редко.

При установке в узлах пары упорных и радиального сферических подшипников необходимо для их начальной самоустановки (компенсация неточностей изготовления деталей) обеспечить совмещение центров сферических поверхностей (фиг. 36).

Обычно применяют подшипники с плоскими кольцами, так как способность сферических подшипников к самоустановке в процессе работы при значительных осевых нагрузках очень ограничена вследствие большого трения скольжения между поверхностями свободного и подкладного колец. Поэтому применение сферических упорных подшипников незначительно.

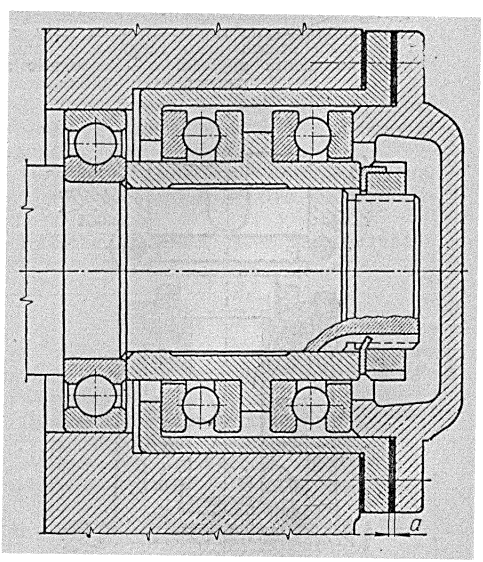
Вредное влияние гироскопического эффекта в упорных подшипниках устраняется применением комплекта пружин (см. фиг. 33 и 35), нагружающих подшипник осевой силой

$$F = 54 \cdot 10^{-14}[(D^2 - d^2)n]^2 \text{ в } кГ,$$

где D и d — наружный и внутренний диаметры стандартного подшипника в *мм*;
n — рабочее число оборотов подшипника в минуту.

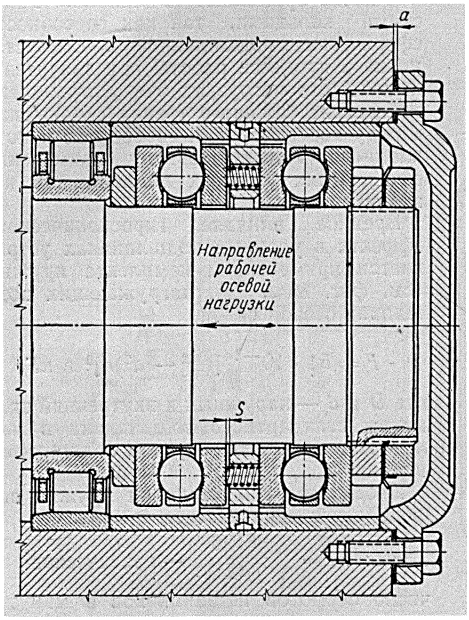
Необходимость установки пружин определяется неравенством $n \geqslant n_1$.

Здесь: $n_1 = \frac{86126}{\sqrt{D^2 - d^2}}$ — критическое число оборотов подшипников в минуту.

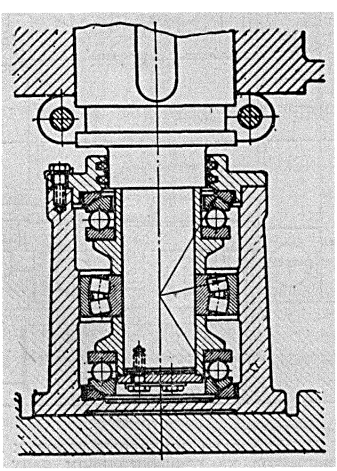


Фиг. 34. Установка одинарных упорных шарикоподшипников на горизонтальном валу с регулировкой осевой игры торцовой крышкой и комплектом металлических прокладок: a — регулировочные прокладки.

Рабочая осевая нагрузка A на упорный подшипник должна быть больше силы F, т. е. $A > F$, в противном случае следует применить подшипник шариковый радиальный однорядный.



Фиг. 35. Установка одинарных упорных шарикоподшипников на горизонтальном валу с регулировкой осевой игры гайками и применением комплекта пружин: a — картонные прокладки.



Фиг. 36. Самоустанавливающаяся пята со сферическими подшипниками.

При установке пружин в узле расчетную осевую нагрузку на двойной упорный подшипник принимают равной $A + F$.

Пример. Определить необходимость применения пружин осевого нагружения и их усилие F для подшипника 38217 (или сдвоенных подшипников 8217), работающего в узле при $n = 1500$ *об/мин*.

Известно: $D = 125$ *мм*, $d = 85$ *мм*.

1. Критическое число оборотов подшипника

$$n_1 = \frac{86126}{\sqrt{125^2 - 85^2}} = 940 \text{ об/мин}.$$

2. Так как $n > n_1$, в узле необходимо предусмотреть пружины.

3. Давление пружин должно составлять

$$F = 54 \cdot 10^{-14}[(125^2 - 85^2)1500]^2 = 86 \text{ кГ}.$$

Широкое распространение получила установка в узле упорных подшипников только с одной стороны вала.

Если вал фиксируется в узле двойным упорным шарикоподшипником, воспринимающим значительные осевые нагрузки переменного направления, то все радиальные подшипники этого вала должны быть «плавающими».

УСТАНОВКА ПОДШИПНИКОВ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАТЯГОМ

Повышение жесткости опор и точности вращения вала (шпинделя) обеспечивают некоторым внутренним предварительным натягом в подшипниках качения. Величина последнего должна быть выбрана с таким расчетом, чтобы усилия, действующие на вал (шпиндель), не могли полностью уничтожить натяг и восстановить зазоры в подшипнике. Предварительный натяг не должен быть излишне велик, так как это привело бы к снижению долговечности опоры. Точно определить оптимальную величину предварительного натяга расчетным путем невозможно вследствие неопределенности наивыгоднейшего соотношения между действующими на подшипники нагрузками и величиной натяга, — поэтому эта задача решается опытным путем.

Предварительный натяг обычно применяют в радиальных и радиальноупорных шарикоподшипниках и значительно реже — в конических роликоподшипниках.

Подшипники должны быть смонтированы в опоре возможно ближе один к другому, чтобы величина предварительного натяга не колебалась от темпера-

турных удлинений вала. Деформация диаметров дорожек качения колец при монтаже подшипников на вал или в корпус со значительными натягами может существенным образом изменить величину заданного предварительного натяга в сторону его повышения, в связи с чем посадки таких подшипников рекомендуется согласовывать с ЦКБПП.

Величина предварительного натяга ориентировочно равна

$$A_0 = (0{,}03 \div 0{,}04)\, d_ш^2 z \ кГ,$$

где $d_ш$ — диаметр шарика в *мм*; z — число шариков в одном подшипнике.

Можно также использовать формулу

$$A_0 = \frac{A}{2n},$$

где A — величина осевой нагрузки в *кГ*, действующей на подшипники; n — число подшипников в опоре, наружные кольца которых обращены один к другому разноименными торцами (см. фиг. 1, *в*, гл. III).

Предварительный натяг осуществляют следующими способами:

1) Подшлифовкой торцов взаимно-прилегающих колец в одном комплекте сдвоенных радиально-упорных шарикоподшипников повышенной точности. В зависимости от назначения спаренных комплектов подшлифовка торцов может производиться либо внутренних, либо наружных колец. При этом установка подшипников в опоре может производиться следующим образом.

а) наружные кольца соприкасаются узкими торцами (см. фиг. 1, *б*, гл. III); установку применяют в случаях, когда от опоры не требуется большой угловой жесткости;

б) наружные кольца соприкасаются широкими торцами (см. фиг. 1, *а*, гл. III); установку применяют в случаях, когда требуется большая угловая жесткость;

в) широкий торец наружного кольца одного подшипника соприкасается с узким торцом наружного кольца другого подшипника (см. фиг. 1, *в*, гл. III); установку применяют в случаях, когда на опору действует большая осевая нагрузка в одном направлении.

2. Посредством двух распорных (дистанционных) втулок или колец неодинаковой ширины, устанавливаемых между внутренними и между наружными кольцами пары шарикоподшипников (см. фиг. 1, *е*, гл. III).

Относительное смещение колец шарикоподшипников после затягивания собранного таким способом комплекта обеспечивает желаемый предварительный натяг, величина которого зависит от ширины распорных втулок.

Разность ширины распорных втулок или величину съема металла с торца одного из подшлифовываемых колец Δl для создания необходимого предварительного натяга определяют по формуле

$$\Delta l = 2\sqrt{\delta_0^2 + 2B\delta_0 + Be_н - \frac{e_н^2}{4}} \ мм,$$

где

$$\delta_0 = 2{,}068 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{\frac{A_0^2}{z^2 \sin^2 \beta d_ш}};$$

где A_0 — величина предварительного натяга в *кГ*; $B = 2r_{ж} - d_ш$; $r_{ж}$ — радиус профиля желобов колец шарикоподшипника в *мм*; $e_н$ — начальный радиальный зазор в подшипнике в *мм*.

Оба подшипника специально подбирают с одинаковым начальным радиальным зазором и одинаковой шириной колец. Распорные втулки должны быть обработаны с высокой точностью и строгой перпендикулярностью торцов к осям.

При использовании для этой цели радиальных однорядных шарикоподшипников необходимо, чтобы их начальные радиальные зазоры были несколько больше рекомендуемых. В этом случае подшипники способны воспринимать повышенные осевые нагрузки.

3. Посредством пружин, действующих обычно на наружное кольцо шарикоподшипника (см. фиг. 23, 24).

Пружины помещают в гнезда стакана, устанавливаемого в корпус по подвижной посадке.

Каждая пружина должна создавать усилие

$$P_1 = \frac{A_0}{m},$$

где A_0 — усилие предварительного натяга, создаваемого пружинами, в *кГ*; m — число пружин.

Диаметр проволоки пружины

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{P_1 cx}{R_s}} \ мм,$$

где $c = \frac{D_0}{d}$ — индекс пружины; D_0 — средний диаметр пружины в *мм*; x — коэффициент, зависящий от c; R_s — допускаемое напряжение на кручение в *кГ/мм*^{2}.

Число рабочих витков

$$n = \frac{kf_1}{P_1},$$

где $k = \frac{Gd^4}{8D_0^3}$ *кГ/мм*; $G = 8000$ — модуль упругости второго рода для стали в *кГ/мм*^{2}; f_1 — деформация пружины под нагрузкой P_1.

Свободная длина пружины

$$L_{св} = L_1 + \frac{P_1 n}{k} \text{ мм},$$

где L_1 — рабочая длина пружины под нагрузкой P_1.

Шаг пружины

$$H = \frac{L_{св} - d}{n}.$$

4. Резьбовой крышкой или регулировочными прокладками (см. фиг. 22, 27) быстро регулируют величину предварительного натяга в соответствии с условиями работы того или иного механизма, а также компенсируют небольшой абразивный износ подшипников. Эта операция требует, однако, большого опыта, так как иначе легко «перетянуть» подшипники.

Для узла на двух конических роликоподшипниках средних размеров предварительный натяг, выраженный через крутящий момент, прикладываемый к валу, ориентировочно можно рекомендовать в пределах 11,4—34,2 *кГ/см*; в размерных величинах он обычно составляет 0,05—0,10 *мм*.

Предварительный натяг, осуществленный по способам 1 и 2, с течением времени уменьшается вследствие износа элементов качения и остается постоянным вне зависимости от износа подшипников, при способе 3, где натяг создается пружинами.

Легкий преднатяг в шарикоподшипниках оказался хорошим средством для снижения шума в маленьких электромоторах для пылесосов и других машинок.

Расчетная долговечность подшипников с предварительным натягом может быть установлена по формуле:

$$h = \frac{1}{n}\left\{\frac{C}{[R \cdot K_к + m(A_0 \pm 0{,}5A)]}\frac{C}{K_б K_т}\right\}^{10/3} \text{ час.}$$

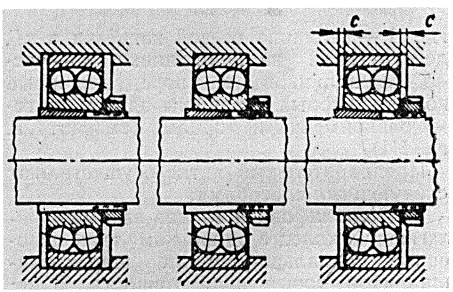
Значение величин, указанных в формуле, приведены в гл. III.

СХЕМЫ УСТАНОВКИ В УЗЛЕ ПОДШИПНИКОВ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ТИПА

Для предотвращения заклинивания тел качения, вызванного температурным удлинением вала во время работы машины или неточностью изготовления деталей подшипникового узла, установку подшипников нерегулируемого типа производят по двум основным схемам.

1. Установка с фиксированной и «плавающей» опорой

В одной опоре устанавливают радиальный или радиально-упорный подшипник, фиксирующий положение вала относительно корпуса в обоих направлениях (фиг. 37). Этот подшипник жестко крепится в осевом направлении как на валу, так и в расточке корпуса. Такая опора называется фиксирующей.



Фиг. 37. Установка многоопорного вала с фиксацией его одним подшипником.

В других опорах вала (фиг. 37) подшипники жестко крепятся в осевом направлении только на валу. Крепление подшипников в корпусе в этом случае не производят.

Для обеспечения возможности свободного перемещения подшипника вдоль оси расточки корпуса под влиянием температурных деформаций вала при проектировании необходимо предусмотреть:

а) скользящую посадку ($C_п$) наружного кольца подшипника в корпус;

б) зазоры c между торцами наружного кольца подшипника и центрирующих бортов торцовых крышек или упорных заплечиков корпуса (см. фиг. 12, 14, 37).

В зависимости от длины ($l_в$) вала между опорами размер c может быть ориентировочно принят при $l_в$ до 1000 *мм*; $c = 3 \div 8$ *мм*; при $l_в$ свыше 1000 *мм*; $c = 8 \div 13$ *мм*.

Кроме того, широкое распространение нашло применение в этих опорах радиальных роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами и безбортовыми кольцами (типы 2000, 32000 и др.) (см. фиг. 6, 7, 11). В этом случае роликоподшипник должен крепиться в осевом направлении как на валу, так и в корпусе.

Такие опоры называются «плавающими».

При неравномерном распределении нагрузки между опорами вала в качестве «плавающей» опоры следует выбирать менее нагруженную радиальными усилиями, что создает более благоприятные условия для осевого перемещения наружного кольца подшипника в расточке корпуса.

Преимущество способа установки подшипников с фиксацией в обе стороны одной из опор вала в осевом направлении заключается в возможности установки подшипников на любом расстоянии один от другого без опасности их заклинивания, а также в устранении необходимости ужесточения допусков на линейные размеры вала и корпуса.

2. Установка подшипников «в распор».

Установку радиальных подшипников в распор (см. фиг. 4) обычно применяют при двухопорном вале, подшипники которого помещаются в сквозных расточках монолитного корпуса. Эта схема установки подшипников может быть рекомендована для валов с расстоянием между опорами не свыше $\infty 350$ *мм*. Фиксация вала с подшипниками в осевом направлении относительно корпуса производится торцовыми крышками.

При этой схеме установки подшипников необходимо между наружным кольцом подшипника и центрирующим бортом торцовой крышки предусмотреть зазор a. При определении величины этого зазора следует учитывать тепловое удлинение (Δl) вала, которое может быть подсчитано по формуле (без учета расширения корпуса)

$$\Delta l = 11{,}7\,(t_2 - t_1)l \cdot 10^{-6}\ мм,$$

где t_2 — рабочая температура вала; t_1 — температура окружающей среды; l—расстояние между опорами.

Размер a должен быть больше Δl.

При отсутствии значительного перепада температур вала и окружающей среды размер a может быть принят 0,2÷0,4 *мм*. Величина зазора обеспечивается установкой комплекта металлических регулировочных прокладок между корпусом и фланцевой поверхностью крышки.

В узлах с реверсивной нагрузкой, часто меняющей свое направление, а также для высокоскоростных узлов установка подшипников в распор не рекомендуется. Кроме однорядных шарикоподшипников, по этой схеме могут быть установлены роликоподшипники типа 42000 (см. фиг. 9).

Установка двухрядных роликоподшипников со сферическими роликами (по ГОСТ 5721-57) или с коническими роликами (по ГОСТ 6364-52) в распор производится сравнительно редко.

УСТАНОВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ В КОРПУСАХ И ВАЛАХ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Упорные заплечики вала и корпуса. Размеры галтелей упорных заплечиков вала и корпуса во всех случаях должны быть меньше координат монтажных фасок подшипников. В противном случае при монтаже будут иметь место недопрессовка подшипника до упорного заплечика, а иногда даже разрыв кольца под действием местных напряжений вследствие давления галтели вала на монтажную фаску кольца подшипника.

Размеры радиусов галтелей вала или корпуса r_1 (фиг. 38), в зависимости от координат фасок, для стандартных подшипников приведены в табл. 2.

2. Размеры радиусов галтелей вала или корпуса в *мм*

Координаты фасок подшипника $r_{ном}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12	15	18
Наибольший радиус галтели вала или корпуса r_1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1	1	1,5	2	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12

При достаточном запасе прочности вала или корпуса можно с успехом применять обычные проточки для выхода шлифовального круга или резца (фиг. 38).

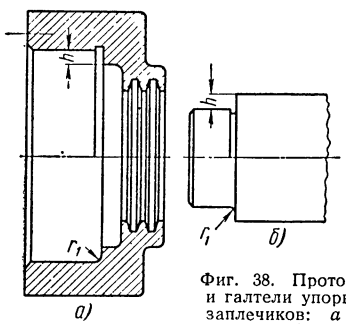
Высота упорного заплечика вала (корпуса) должна перекрывать монтажную фаску подшипника.

Для радиальных шарико- и роликоподшипников минимальная высота упорного заплечика вала или корпуса в зависимости от координаты фаски может быть принята:

$h_{min} = 1{,}8r$ — для подшипников легкой и средней серии;

$h_{min} = 2r$ — для подшипников тяжелой серии.

Высота упорного заплечика вала (корпуса) h назначается обычно меньше толщины s примыкающего к нему кольца подшипника, с тем чтобы обеспечить возможность захвата подшипника при демонтаже, особенно в тех случаях, когда посадка осуществляется с натягом; $h = \left(\frac{2}{3} \div \frac{4}{5}\right) s$.

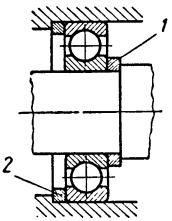


Фиг. 38. Проточки и галтели упорных заплечиков: *а* — корпуса; *б* — вала.

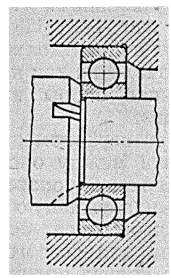
Если по конструктивным причинам высота упорного заплечика получается слишком малой, то между ним и соответствующим кольцом подшипника помещают упорное кольцо, как схематически показано на фиг. 39; в случае слишком большой высоты заплечика, должны быть на валу (корпусе) предусмотрены специальные проточки или пазы для лап съемника (фиг. 40).

В глухих корпусах предусматривают резьбовые отверстия, через которые с помощью болтов подшипник выпрессовывается из корпуса.

При конструировании упорных заплечиков вала и корпуса необходимо учитывать, что усилие распрессовки с помощью демонтажного приспособления следует прикладывать только к тому кольцу подшипника, которое монтируется с натягом, но не через тела качения.



Фиг. 39. Установка промежуточных колец при низких упорных заплечиках вала и корпуса: *1—2*— промежуточные кольца.

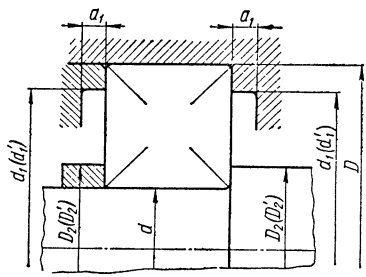


Фиг. 40. Конструкция упорных заплечиков вала и корпуса.

Установочные размеры в корпусах и на валах для подшипников качения приведены в табл. 3—10.

3. Установочные размеры в корпусах и на валах для радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников

Типы подшипников: 0, 1, 2, 3, 6 по ГОСТ 3189-46



$D_2 = 0{,}2\,(D + 4d)$; $D_2' = 0{,}16(D + 5{,}25d)$;

$d_1 = 0{,}2\,(d + 4D)$ $d_1' = 0{,}16(d + 5{,}25D)$,

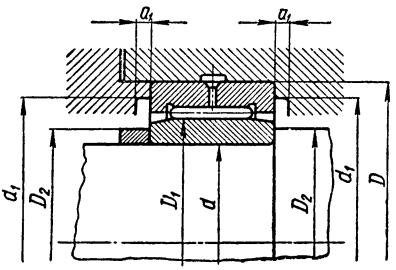
где D_2' и d_1' — диаметры упорных заплечиков вала и корпуса, сопрягаемых только с безбортовыми кольцами роликоподшипников (тип 2) или с низкими бортами наружных колец радиально-упорных подшипников (тип 6).

Размеры заплечиков в *мм*

d свыше	d до	a_1 наим.
—	50	3
50	120	5
120	200	6
200	500	8

4. Установочные размеры в корпусах и на валах для игольчатых роликоподшипников

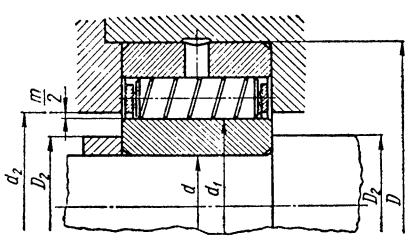
Тип подшипников 4



$D_2 = 0{,}4(d + 1{,}5D_1)$; $d_1 = D - 0{,}6(D_1 - d)$.
Размеры d, D_1 и D по ГОСТ 4657-56;
a_1 — см. табл. 3.

5. Установочные размеры в корпусах и на валах для роликоподшипников с витыми роликами

Тип подшипника 5

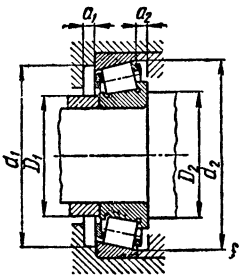


$D_2 = 0{,}4(d + 1{,}5d_1)$; $d_2 = d_1 + m$.
Размеры d и d_1 по ГОСТ 26005

Размеры m в *мм*

d		m
свыше	до	
—	80	2
80	120	3
120	180	4
180	260	5
260	—	6

6. Установочные размеры в корпусах и на валах для конических однорядных роликоподшипников



Серия диаметров 1

Обозначение подшипников	D_1 наиб	d_1 наим.	d_2 наим.	a_1 наим.	a_2 наим.	D_2
2007109	51	69	72	4	7	55
2007111	62	83	86	5	7	64
2007118	100	128	135	7	8	102
2007120	109	138	145	7	8	112
2007122	121	156	164	7	10	124
2007124	131	165	174	8	9	135
2007128	152	190	202	8	12	155
2007132	174	218	231	8	12	180
7138	210	270	278	8	11	208
2007140	220	275	294	8	13	225
2007144	240	308	326	8	13	245
2007148	264	330	343	8	14	265
2007152	288	360	378	8	15	290
2007156	305	382	404	9	15	310
2007160	334	420	436	8	15	334
7168	380	480	490	8	17	372
7180	440	550	570	9	20	440
7184	460	570	595	9	20	460
7188	485	600	620	9	22	490
2007188	480	600	618	10	23	485
7192	500	630	645	9	21	505
71/500	544	665	682	11	22	545
71/560	610	760	780	10	29	610
71/600	650	800	835	11	28	650
71/710	775	950	985	11	27	775
71/900	960	1180	1230	11	38	975

Серия диаметров 2 и 5

Обозначение подшипников		D_1 наиб.	d_1 наим.	d_2 наим.	a_1 наим.	a_2 наим.	D_2
7202	—	19	29	32	3	5	21
7203	—	23	34	37	3	5	23
7204	—	26	41	44	3	5	27
7205	—	31	46	49	3	6	32
7206	7506	37	56	59	4	6	38
7207	7507	43	65	67	4	7	44
7208	7508	48	72	75	5	7	50
7209	7509	53	76	80	5	8	55

Продолжение табл. 6

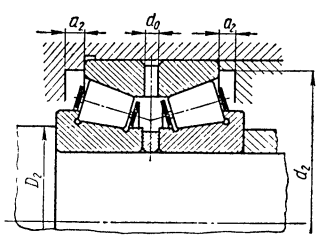
Обозначение подшипников		D_1 наиб.	d_1 наим.	d_2 наим.	a_1 наим.	a_2 наим.	D_2
7210	7510	58	83	85	5	6	58
—	7511	63	90	94	5	8	65
7212	7512	69	100	104	7	8	72
7213	7513	75	108	114	6	8	78
7214	7514	80	1.4	119	8	8	82
7215	7515	85	118	124	7	8	88
7216	75 16	90	126	133	6	10	95
7217	7517	96	134	142	8	9	100
7218	75 18	102	142	152	7	11	105
7219	7519	108	152	162	10	10	115
7220	7520	114	160	169	7	11	120
—	7522	125	175	188	9	12	130
7224	7524	135	192	203	10	12	140
—	7526	145	200	218	10	15	155
—	7528	157	220	237	7	16	165
7230	7530	168	244	255	10	17	175
—	7532	186	254	270	10	13	185
—	7536	206	280	302	10	16	210
—	7538	220	298	318	10	17	225
7244	—	260	355	370	8	15	255

Серия диаметров 3 и 6

Обозначение подшипников		D_1 наиб.	d_1 наим.	d_2 наим.	a_1 наим.	a_2 наим.	D_2
7304*	7604*	27	45	48	4	5	27
7305*	7605	33	55	57	4	5	32
7306	7606	38	64	67	5	7	38
7307	7607	45	71	75	5	7	45
7308	7608	50	80	82	5	8	50
7309	7609	56	90	93	6	8	55
7310	7610	62	99	102	7	10	62
7311	7611	67	105	112	7	11	68
7312	7612	73	116	122	9	11	75
7313	7613	80	125	130	7	11	80
7314	7614	85	133	140	9	12	85
7315	7615	91	140	148	8	13	90
7316	7616	97	150	159	8	12	100
7317	7617	102	158	167	8	13	105
7318	7618	108	166	177	10	14	110
	7620	125	183	200	8	14	125
	7624	145	219	239	8	15	145
7352		320	480	490	8	24	298
27308		50	76	84	5	10	50
27317		105	155	166	6	10	105
27328		170	250	280	7	19	175
27340		250	350	390	7	22	250

* Предусмотреть демонтажные пазы на заплечиках корпуса.

7. Установочные размеры в корпусах и на валах для конических двухрядных роликоподшипников



Серия диаметров 1

Обозначение подшипников	D_2	d_2 наим.	a_2 наим.	d_0	$n_{от}$
2097136	200	270	13	10	4
2097140	225	294	13	10	4
2097144	245	326	13	10	4
2097148	265	343	14	10	4
2097152	290	378	15	10	4
2097156	310	404	15	12	6
97168	375	490	17	12	8
97172	395	515	17	12	8
97 180	440	570	20	12	8
97 184	460	595	20	12	8
97 188	490	620	22	12	8
97 192	505	645	21	12	8
971/560	615	780	29	12	8
971/600	655	835	28	12	10
971/710	775	985	27	12	8

Серия диаметров 5 и 7

Обозначение подшипников	D_2	d_2 наим.	a_2 наим.	d_0	$n_{от}$
97510	58	85	6	4	4
97515	88	124	8	8	4
97516	95	133	10	6	4
97518	105	152	11	8	4
97520	120	168	11	8	4
97521	125	182	9	8	4
97526	155	218	15	10	4
97530	145	254	17	10	4
2097726	145	200	11	8	4
2097730	170	235	14	10	4
2097732	185	255	14	10	4
2097736	205	280	14	10	4
2097738	220	300	17	10	4
2097740	230	316	22	10	4
2097748	275	378	16	10	4
2097752	295	410	16	12	8
1097760	340	465	19	12	8
1097768	385	545	23	12	8
1097776	430	585	23	12	8
1097784	475	655	28	12	8

Продолжение табл. 7

Серия диаметров 9					
Обозначение подшипников	D_2	d_2 наим.	a_2 наим.	d_0	$n_{от}$
2097938	205	251	10	6	4
2097944	240	288	12	10	4
2097948	260	312	11	10	4
2097952	280	350	13	10	4
2097960	325	400	15	12	8
2097968	370	444	11	12	8
2097972	390	462	14	12	8
1097976	410	500	17	12	8
1097992	495	595	18	12	8
1097996	520	625	20	12	8

Продолжение табл. 7

Серия диаметров 9					
Обозначение подшипников	D_2	d_2 наим.	a_2 наим.	d_0	$n_{от}$
10979/500	540	645	22	12	8
10979/530	565	685	21	12	8
10979/600	640	770	21	12	8
10979/630	680	820	24	12	10
10979/710	765	910	26	12	8
10979/800	855	1020	26	12	10
10979/850	905	1080	30	12	8

Примечание. $n_{от}$ — число отверстий диаметром d_0.

8. Установочные размеры в корпусах и на валах для конических четырехрядных роликоподшипников (см. фиг. 31)

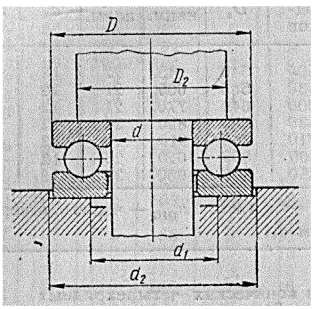
Серия диаметров 1, 7, 8 и 9								
Обозначение подшипников	D_1	d_1 наим.	a_1 наим.	M	N	d_0	$n_{от}$	$B-\Delta B$
77741*	220	300	7	25	30	10	6	205^{-3}
77748	260	380	8	30	35	10	12	270^{-3}
77752*	278	364	14	30	35	10	12	255^{-3}
777752	275	400	9	35	45	10	12	300^{-3}
3077256-р	310	468	10	45	50	15	16	340^{-3}
77760	322	450	8	40	45	10	12	350^{-3}
77766	365	535	11	35	45	15	16	360^{-3}
777770	368	540	6	30	50	15	16	420^{-3}
77172	382	505	6	30	45	15	16	325^{-3}
1077776	410	570	10	35	55	15	16	420^{-3}
3077776	410	570	5	35	45	15	16	388^{-3}
77779	415	500	8	40	40	15	16	$288{,}7^{-3}$
77880*	418	510	5	40	45	15	16	280^{-3}
77788	462	610	7	30	45	15	20	355^{-3}
777792	480	670	5	40	65	15	20	440^{-3}
77196	508	665	5	35	50	20	20	420^{-3}
30777/530-р	570	800	6	50	70	20	20	544^{-4}
777/533	564	760	15	55	60	20	20	450^{-4}
779/600	622	760	10	30	45	16	20	365^{-4}
777/620	630	765	13	30	35	15	20	365^{-4}
777/647	700	950	11	30	55	20	20	560^{-4}
777/650	700	950	11	40	60	20	20	560^{-4}
778/660	680	818	11	30	45	15	20	320^{-4}
777/660	720	990	12	40	65	20	20	650^{-4}
777/750	790	1040	9	55	80	25	20	690^{-4}
2077144	240	310	8	24	24	10	12	305^{-3}
2077156	305	385	9	25	30	10	12	348^{-3}
10777/750	840	1100	10	50	90	20	20	840^{-4}

Примечание: $n_{от}$ — число отверстий диаметром d_0.

* При установке подшипника на шейку вала по посадке $Д_п$, $С_п$ или $П_п$ необходимо предусмотреть демонтажные пазы на заплечиках вала.

Установочные размеры в корпусах и на валах для упорных одинарных шарикоподшипников

Тип подшипника 8



$$D_{2\text{наиб}} = 0{,}4(d + 1{,}5D);$$

$$D_{2\text{наим}} = \frac{3D + 5d}{8};\quad d_{1\max} = \frac{5D + 3d}{8}.$$

$$d_{1\min} = 0{,}4(D + 1{,}5d);\quad d_2 = D + x.$$

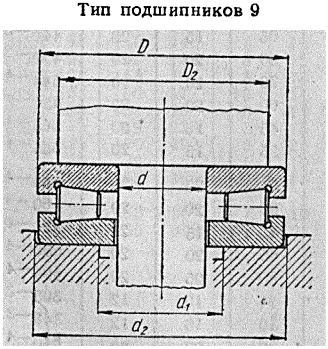
Размеры d и D по ГОСТ 6874-54.

Размеры x в *мм*

D		x
свыше	до	
—	100	0,5
100	200	1
200	600	2
600	—	3

10. Установочные размеры в корпусах и на валах для упорных роликоподшипников с коническими роликами

Тип подшипников 9



$$D_{2\text{наим}} = 0{,}2\ (d + 4D);$$

$$d_{1\text{наиб}} = 0{,}2\ (D + 4d);\quad d_2 = D + x,$$

где d и D по ГОСТ 5380-50; x — см. табл. 9.

ОСЕВЫЕ КРЕПЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ВАЛАХ И В КОРПУСАХ

Для предотвращения осевого перемещения подшипников под действием осевой нагрузки, кольца удерживаются на валу и в корпусе концевыми или промежуточными закрепительными устройствами.

Выбор рационального способа осевого крепления подшипника на валу и в корпусе зависит от следующих факторов.

а) величины и направления действующей на подшипник нагрузки;

б) числа оборотов подшипника в минуту;

в) типа подшипника;

г) условий монтажа и демонтажа узла;

д) технологических возможностей завода-изготовителя подшипникового узла;

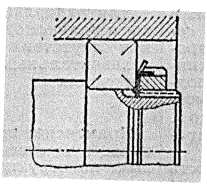
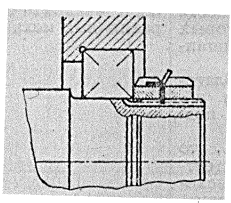
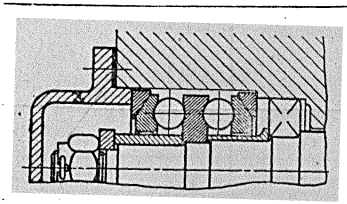
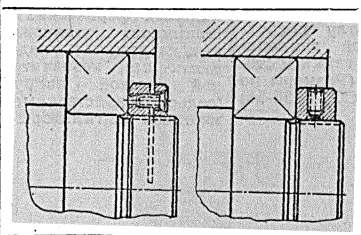
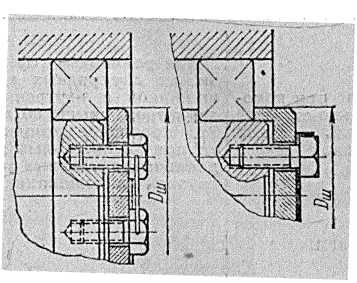
Для тех случаев, когда на подшипники действуют незначительные осевые нагрузки и скорость их вращения не высока, следует выбирать наиболее простые и дешевые в изготовлении конструкции крепления подшипников. В тех же случаях, когда подшипники применяются в ответственных механизмах, при действии значительных осевых нагрузок и высоких чисел оборотов, крепление подшипников должно быть прочным и надежным.

Тип подшипника имеет обычно решающее значение при выборе конструкции крепления. Так, например, для регулируемых радиально-упорных типов подшипников детали крепления (гайки, фланцевые крышки и др.) должны обеспечить точное регулирование осевой игры.

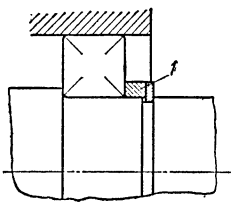
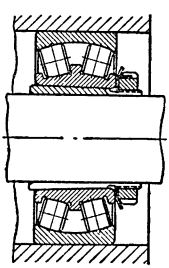
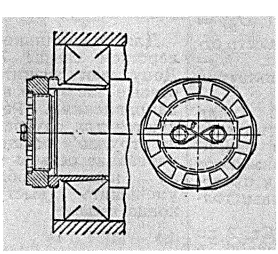
Для внутренних колец подшипников к наиболее распространенным типам относятся крепления гайками различных конструкций, для наружных колец — торцовыми фланцевыми крышками.

В табл. 11 приведены наиболее распространенные способы крепления подшипников на валах и в корпусах с краткой характеристикой условий их применения.

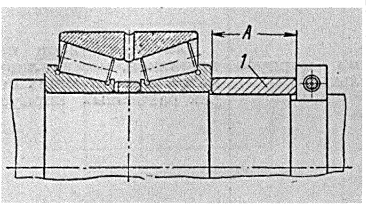
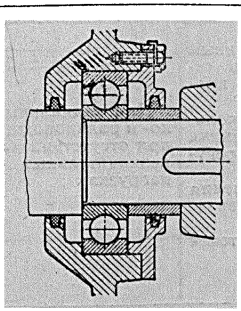
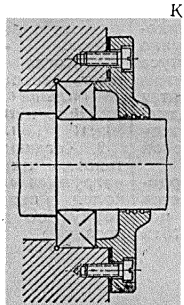
11. Способы крепления подшипников

Эскиз крепления	Характеристика крепления	Назначение
Крепление внутренних колец		
	Гайкой и предохранительной шайбой. Внутренний язычок шайбы входит в канавку шейки вала, а один из наружных зубцов отгибается в один из пазов гайки после ее затяжки. Размеры гаек и шайб по ГОСТ 8725-58 приведены в табл. 12. Размеры канавок на валах под язычок предохранительной шайбы даны в табл. 13.	Для радиальных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников при наличии осевых нагрузок, действующих в обе стороны, и числе оборотов вала в минуту от 0 до $n_{пр}$ ($n_{пр}$ — предельное число оборотов подшипника по каталогу)
	Двумя гайками и предохранительной шайбой. Внутренний язычок шайбы входит в канавку шейки вала, а наружные зубцы ее отгибаются в один из пазов каждой гайки	Для радиально-упорных шарико- и роликоподшипников, регулируемых по внутренним кольцам, которые установлены на шейках валов по посадкам: $П_п$; $С_п$; $Д_п$ и $Х_п$ по ГОСТ 3325-55
	Корончатой гайкой со шплинтом и плоской торцовой шайбой	Для упорных и радиально-упорных шарико- и роликоподшипников при наличии значительных осевых нагрузок, действующих в обе стороны
	Специальной гайкой и винтом для ее стопорения	Для радиальных шарико- и роликоподшипников при малых и средних числах оборотов
	Плоской или фасонной упорными шайбами и болтами. Наружный диаметр шайб обычно принимают $D_ш = d + 2h$, где d — диаметр отверстия подшипника; h — высота упорного заплечика вала. Крепление шайб для $d > 70$ *мм* осуществляется тремя болтами. Для законтривания болтов применяют мягкую проволоку и предохранительные пластины толщиной 1 *мм* Материал: сталь Ст. 3 по ГОСТ 380-57 для шайб и сталь Ст. 10 по ГОСТ 1050-57 для пластин	Для подшипников с отверстием свыше 70 *мм*. Допускают значительные осевые нагрузки в обоих направлениях. Рекомендуются для случаев, когда трудно осуществить нарезание резьбы на валу или необходимо уменьшить выступание конца вала

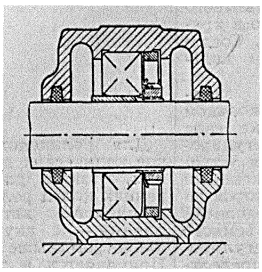
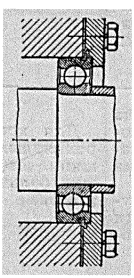
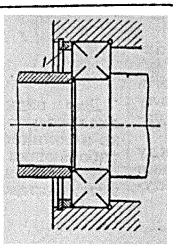
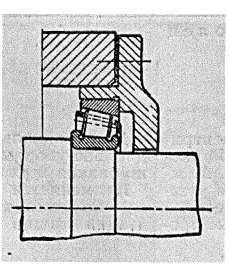
Продолжение табл. 11

Эскиз крепления	Характеристика крепления	Назначение
	Стопорным пружинным кольцом прямоугольного сечения, вставляемым в проточку вала. Между пружинным кольцом и кольцом подшипника следует предусмотреть регулировочное кольцо *1*. При установке регулировочных колец: а) отпадает необходимость в очень точном осевом положении проточки под пружинное кольцо; б) устраняется возможность повреждения в некоторых случаях сепаратора подшипника; в) создаются более благоприятные условия для поступления смазки в подшипник. Необходимо учитывать, что у такого крепления концентрации напряжения происходят у проточки вала. Размеры колец и проточек приведены в табл. 14	Для радиальных шарико- и роликоподшипников при отсутствии или очень незначительных осевых нагрузках Применение пружинных колец существенно упрощает конструкцию и монтаж, уменьшает количество деталей и вес и поэтому следует как можно шире внедрять их в узлы различных механизмов
	На гладком валу посредством конической закрепительной втулки, гайки и стопорной шайбы. (Размеры по ГОСТ 5557-50 и ГОСТ 8725-58)	Для шариковых и роликовых сферических подшипников, установленных на длинных гладких валах при незначительной осевой нагрузке (сельскохозяйственные машины, вентиляторы)
	На конце вала при помощи закрепительно-стяжной (буксовой) втулки, гайкой и стопорной планкой	Для роликовых сферических двухрядных подшипников с внутренним диаметром свыше 80 *мм*. Это крепление применяют при значительных радиальных и ударных нагрузках на подшипники

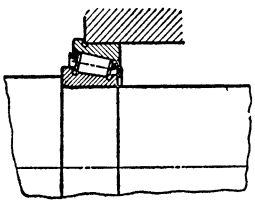
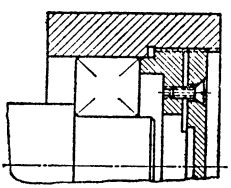
Продолжение табл. 11

Эскиз крепления	Характеристика крепления	Назначение
	При помощи разъемного кольца, вставляемого в круговую проточку вала. Соединяются обе половины кольца болтами. Между разъемным кольцом и внутренним кольцом подшипника на шейке вала устанавливается регулировочное кольцо *1*, для устранения между сопряженными деталями осевых зазоров на участке: упорный заплечик вала — торец разъемного кольца. Ширина регулировочного кольца *1* определяется по месту после замера расстояния *A*. Необходимо учитывать, что у такого крепления концентрации напряжения происходят у проточки вала.	Для роликоподшипников конических двухрядных, а также для внутренних колец роликоподшипников с витыми роликами — с внутренним диаметром свыше 100 *мм*. Применяется в тяжелом машиностроении
См. фиг. 31	Гайкой, навернутой на разъемное кольцо, обе половины которого устанавливаются в проточке вала на винтах. Законтривание гайки осуществляется при помощи болта, ввертываемого в промежуточное кольцо	Для конических четырехрядных роликоподшипников, воспринимающих большие радиальные и осевые нагрузки
	Полумуфтами через дистанционную втулку. Полумуфта должна быть надежно закреплена на валу от перемещения в осевом направлении. Зазоры на участке между торцами упорного заплечика вала и полумуфтой не допускаются	Для радиальных и радиально-упорных шарико-и роликоподшипников, работающих в машинах при различных режимах эксплуатации
Крепление наружных колец		
	Фланцевой крышкой, центрирующий поясок которой входит в расточку корпуса. Между крышкой и корпусом устанавливаются металлические, бумажные или картонные прокладки	Для радиальных и радиально-упорных подшипников всех типов. Применяется при различных режимах эксплуатации машин

Продолжение табл. 11

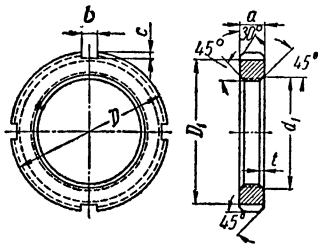
Эскиз крепления	Характеристика крепления	Назначение
	Двумя бортами корпуса и распорным кольцом	Для всех типов подшипников, устанавливаемых в фиксирующих опорах разъемных корпусов
	Установочным кольцом, расположенным в канавке наружного кольца, и фланцевой крышкой	Для шариковых однорядных радиальных подшипников. Применяется при незначительных осевых нагрузках переменного направления. Позволяет уменьшить габаритные размеры узла, а также производить сквозную обработку отверстий корпуса под посадку наружного кольца
	Стопорным пружинным кольцом прямоугольного сечения, вставляемым в проточку гнезда корпуса. Между пружинным кольцом и кольцом подшипника следует предусмотреть регулировочное кольцо *1*. Характеристика крепления этим способом дана для внутреннего кольца Размеры колец и проточек приведены в табл. 15	Для радиальных шарико- и роликоподшипников при отсутствии или очень незначительных осевых нагрузках
	Установка наружного кольца конического роликоподшипника непосредственно в торцовой крышке корпуса Регулировка осевой игры подшипников производится регулировочными прокладками, проложенными между торцом корпуса и фланцевой поверхностью крышки. Центрирующий борт торцовой крышки сопрягается с корпусной деталью по посадкам С; Д и Х по ОСТ 1012	Для конических однорядных роликоподшипников: 1. Когда требуется иметь отверстие в корпусе больше диаметра наружного кольца подшипника. 2. Когда требуется установка циркуляционно-нагруженных наружных колец подшипников в корпус по неподвижным посадкам

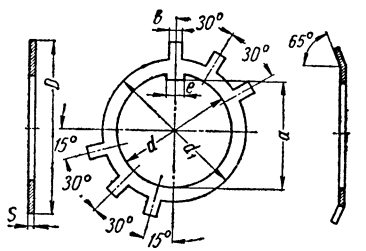
Продолжение табл. 11

Эскиз крепления	Характеристика крепления	Назначение
	Упорным бортом наружного кольца конического роликоподшипника и торцом корпусной детали	Применяется при средних осевых нагрузках, действующих в одном направлении, и при необходимости уменьшения длины посадочного места в корпусе. Наличие борта на наружном кольце дает возможность производить сквозную обработку отверстий корпуса под посадку наружных колец
	Крепление специальной резьбовой крышкой и винтом для ее стопорения	Применяется для радиально-упорных подшипников регулируемых типов, класса точности Н и П. Допускает значительные осевые нагрузки при малых и средних числах оборотов подшипника
См. фиг. 7	В разъемном корпусе при помощи врезных торцовых крышек. Проточка для упорного борта врезной торцовой крышки предусматривается в обеих половинах корпуса	Для радиальных шарико-и роликоподшипников, Применяется при различных режимах работы машин в оборудовании металлургических заводов

12. Гайки и шайбы к закрепительным втулкам для шарико- и роликоподшипников

Размеры в *мм*

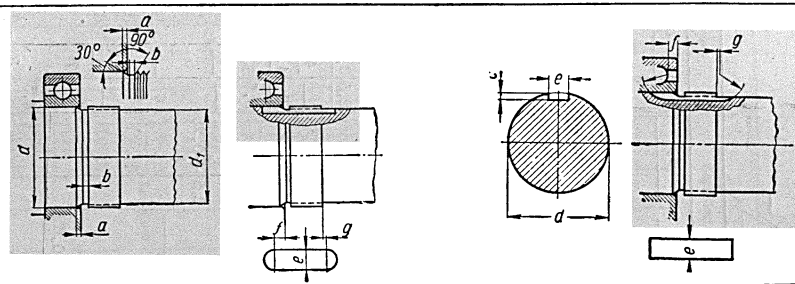




Гайка								Шайба						
Резьба в *мм*	d_1	D	D_1	a	b	c	t	D	d	d_1	e —0,3	a	b	s
20 × 1,0	21	32	26,8	6	6	2,5	0,5	36	20,5	27	5,8	19	5,8	1
25 × 1,5	26	38	32,8	7	6	2,5	0,5	44	25,5	33	5,8	23	5,8	1,25
30 × 1,5	31	44	38,8	7	6	2,5	0,5	49	30,5	39	5,8	28	5,8	1,25
35 × 1,5	36	52	44,7	8	6	2,5	0,5	57	35,5	45	5,8	33	5,8	1,25
40 × 1,5	41	57	49,7	9	6	3	0,5	61	40,5	50	7,8	38	5,8	1,25
45 × 1,5	46	64	56,7	10	6	3	0,5	69	45,5	57	7,8	43	5,8	1,25
50 × 1,5	51	68	61,7	11	6	3	0,5	74	50,5	62	7,8	48	5,8	1,25
55 × 2	57	75	67,7	11	8	3	0,5	81	55,5	68	7,8	53	7,8	1,25
60 × 2	62	80	73,7	11	8	3	1	84	60,5	74	7,8	58	7,8	1,5
65 × 2	67	85	78,6	12	8	3	1	91	65,5	79	7,8	63	7,8	1,5
75 × 2	77	98	89,6	13	10	3,5	1	103	76	90	9,8	71	9,8	1,5
80 × 2	82	105	94,6	15	10	4	1	113	81	95	9,8	76	9,8	1,8
85 × 2	87	110	101,6	16	10	4	1	118	86	102	9,8	81	9,8	1,8
90 × 2	92	118	109,6	16	10	4	1	124	91	110	11,8	86	9,8	1,8
95 × 2	97	125	114,6	17	10	4,5	1	132	96	115	11,8	91	9,8	1,8
100 × 2	102	130	119,6	18	10	4,5	1	138	101	120	11,8	96	9,8	1,8
105 × 2	107	140	126,5	18	12	5	1	144	106	127	11,8	101	11,8	1,8
110 × 2	112	145	134,5	19	12	5	1	151	111	135	13,8	106	11,8	1,8
120 × 2	122	155	139,5	20	12	5	1	162	121	140	13,8	116	11,8	2
130 × 2	132	165	149,5	21	12	6	1	172	131	150	15,8	124	11,8	2
140 × 2	142	180	160,5	22	14	6	1	189	141	161	15,8	134	13,8	2
150 × 2	152	195	171,5	24	18	7	1	203	151	172	17,8	144	17,8	2
160 × 3	163	205	182,5	25	18	7	1,5	215	161	183	17,8	151	17,8	2,5
170 × 3	173	220	193,4	26	18	7	1,5	226	171	194	19,8	161	17,8	2,5
180 × 3	183	230	203,4	27	18	8	1,5	236	181	204	19,8	171	17,8	2,5
190 × 3	193	240	214,4	28	18	8	1,5	246	191	215	21,8	181	17,8	2,5
200 × 3	203	250	226,4	29	18	8	1,5	257	201	227	21,8	191	17,8	2,5

13. Размеры канавки на валу под язычок стопорной шайбы

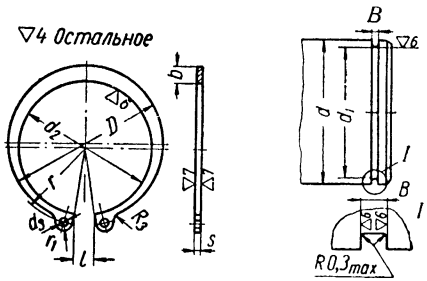
Размеры в *мм*



Диаметр отверстия подшипника d	d_1 наиб.	a	b	c наим.	$e^{+0,3}$	f наим.	g наим.	Диаметр отверстия подшипника d	d_1 наиб.	a	b	c наим.	$e^{+0,3}$	f наим.	g наим.
17	15,75	1,5	2	2	6	3,5	1	80	77,7	3	3	5	10	6	2
20	18,75	1,5	2	2	6	3,5	1	85	82,7	3	3	5	10	6	2
25	23,5	1,5	2	3	6	4	1,5	90	87,7	3	3	5	12	7,5	2
30	28,5	1,5	2	3	6	4	1,5	95	92,7	3,5	3	5	12	7,5	2
35	33,5	2	2	3	6	4	1,5	100	97,7	3,5	3	5	12	7,5	2
40	38,5	2	2	3	8	5	1,5	110	107,2	3,5	3	5	14	7,5	2
45	43,5	2	2	3	8	5	1,5	120	117	3,5	3	5	14	7,5	2
50	48,5	2	2	3	8	5	1,5	130	127	4	3	7	16	7,5	2
55	53,5	2,5	3	3	8	5	1,5	140	137	4	3	7	16	7,5	2
60	58,5	2,5	3	3	8	6	1,5	150	147	4	3	7	18	7,5	2
65	63,5	2,5	3	3	8	6	1,5	160	156,5	4	4	10	18	7,5	3
70	68	2,5	3	5	10	6	1,5	170	166,5	5	4	10	20	7,5	3
75	73	2,5	3	5	10	6	1,5	180	176,5	5	4	10	20	7,5	3

14. Кольца пружинные упорные и канавки для них

Размеры в *мм*



Вал				Кольцо в свободном состоянии														Вес 1000 шт. в *кГ*
	d_1			d_2		D				r		d_3			b			
d	Номинал	Доп. откл.	B	Номинал	Доп. откл.	Номинал	Доп. откл.	S	L	Номинал	Доп. откл.	Номинал	Доп. откл.	r_1	Номинал	Доп. откл.		
12	11,5	−0,24	1,2	10,8	+0,43	14,2	−0,43	1	3	7,5	−0,36				2,2	−0,25		0,52
15	14,3			13,6		17,2			4	9				2	2,4			0,63
17	16,2			15,5		19,5				10		2			2,6			0,97
20	19		1,3	18,1		22,9	−052	1,1	5	11,5					3,2			1,5
25	23,8	−0,28		22.9	+0,52	28,3				14	−0,43			2,5	3,6			2,4
30	28,6			27,7		33,7			6	16,5					4			2.8
35	33			31,9		39,3	−0,62			19,4				3	4,9	−0,30		6.3
40	37,5		1,9	36,4		44,6		1,6		22				3,5	5,5			7,2
45	42,5	−0,34		41,4	+0,62	49,6			8	24,5	−0,52							8 0
50	47			45,8		54,8				27		2,5	+0,25		6			12,8
55	52		2,2	50,6		59,6		2		29,5				4				14,1
60	57			55,6		65,4	−0,74			32,2					6,5			15.3
65	62			60,6		70,4				34,7								20.2
70	67	−0,40		65,6	+0,74	76				37,5					7			26,4
75	72		2,8	70,6		82,6		2,5	10	41	−0,62			4,5				28,3
80	76,5			75		87				43,5					8	−0,36		34,6
85	81,5			79,7		91,7	−0,87			46								36,8
90	86,5	−0,46		84,5		98,1				49		3		5	9			46,0
95	91,5		3,1	89,5	+0,87	103,1		2,8		51,5	−0,74							49.2
100	96,5			94.5		108,1			12	54,5								50,2

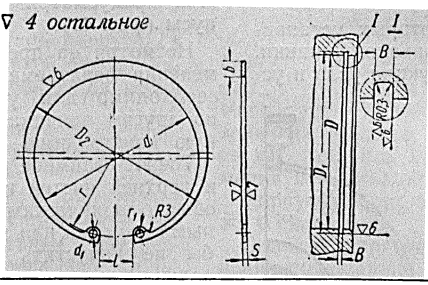
Примечания: 1. Кольца должны изготовляться из стали марки 65Г по ГОСТ 1050—52 или из стали других марок с временным сопротивлением 127—170 *кГ/мм²* при установленной для колец твердости.

2. Твердость колец должна быть в пределах: *HRC* 45—50 для *d* от 12 до 40 *мм*; *HRC* 43—48 для *d* от 40 до 100 *мм*.

3. На поверхности колец не допускаются трещины, окалины и заусенцы.

4. Неплоскостность колец не должна превышать 0,1 *мм*.

15. Кольца пружинные упорные и канавки для них
Размеры в *мм*



Корпус				Кольцо в свободном состоянии														Вес 1000 шт. в *кГ*
	D_1			D_2		d				r		d_1			b			
D	Номинал	Доп. откл.	B	Номинал	Доп. откл.	Номинал	Доп. откл.	S	l	Номинал	Доп. откл.	Номинал	Доп. откл.	r_1	Номинал	Доп. откл.		
26	27,2	+0,28		28,1	−0,52	23,5			7	11,5		2,0		2,5	3,1			1,4
30	31,4		1,3	32,4		27,8	+0,52		8	13,5								1,6
32	33,7			34,7		29,5		1,1	9	14,2	−0,43				3,5			1,7
35	37			38	−0,62	32,8			10	15,7								2,3
37	39	+0,34		40		34,2				16,7				3,0	3,9	−0,3		2,5
40	42,5			43,5		37,1	+0,62		12	18,2					4,2			5,0
42	44,5			45,5		39,1				19,2		2,5						5,4
47	49,5		1,9	50,7		43,9		1,6	14	21,7	−0,52				4,5			6,1
52	55			56,3	−0,74	48,7				24,2			+0,25		5,1			8,5
62	65	+0,40		66,3		58,7			16	29,2				3,5				10,3
72	75			76,6		67,3	+0,74			34,2								12,2
80	84,5			85,5		76,3				38,2					6,1			19,2
85	88,5			90,5		81,3				40,5	−0,62							20,5
90	93,5		2,2	95,5	−0,87	84,5		2,0	18	43					7,3			21,9
95	98,5	+0,46		100,5		89,5				45,5								23,2
100	103,5			105,5		94,5	+0,87			48		3,0		4,0		−0,36		24,4
110	114			116		103,2				53								38,8
115	119			121,5		108,7				55,5					8,5			40,9
120	124			126,5		113,7		2,5	22	58								43
125	129		2,7	131,5	−1,00	116,9				60,5	−0,74							44,8
130	134	+0,53		136,5		121,9				62,7					9,7			53,7
140	144			146,5		131,9				67,7								57,2
145	149			151,5		136,9				70,2		3,5	+0,3	4,5				59,5
150	155			157,5		140,9	+1,00			71,5								73
160	165		3,1	167,5		150,9		2,8	26	76,7					11,0			78,4
170	175			177,5		160,9				81,7								83,6
180	185			188		169,6				86,2	−0,87	4,0				−0,43		108,9
190	195	+0,6	3,5	198	−1,15	179,6		3,0	28	91,2				5,0	12,3			115,7

Примечания: 1. Кольца должны изготовляться из стали марки 65Г по ГОСТ 1050—52 или из других марок стали, обеспечивающих временное сопротивление 127—170 *кГ/мм²* при установленной для колец твердости.

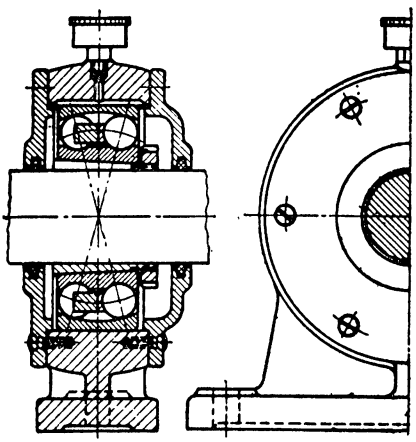
2. Твердость колец должна быть в пределах: *HRC* 45—50 для *D* до 37 *мм*; *HRC* 43—48 для *D* от 40 до 190 *мм*.

3. На поверхности колец не допускаются трещины, окалины и заусенцы.

4. Неплоскостность колец не должна превышать 0,1 *мм*.

ЭЛЕМЕНТЫ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Корпус. Корпусы, в которых устанавливают шарико- или роликоподшипники, в зависимости от конструкции узла и условий сборки и эксплуатации выполняют неразъемными и разъемными.



Фиг. 41. Установка сферического шарикоподшипника в неразъемном корпусе со сквозной расточкой.

во время эксплуатации и сборка подшипниковых узлов не сложна, рекомендуется предусматривать неразъемные корпусы (фиг. 41).

Несмотря на предпочтительность применения неразъемных корпусов, иногда необходимо для удобства сборки или по другим причинам применять разъемную конструкцию корпуса (фиг. 42).

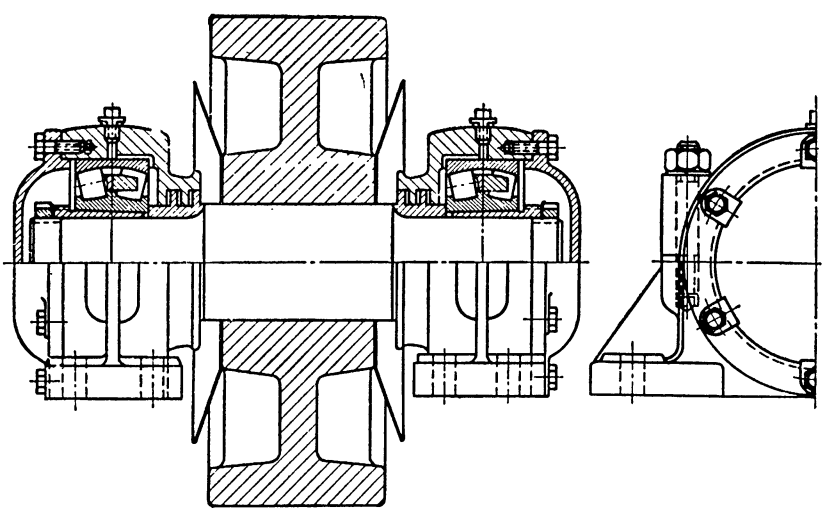
Точное взаимное расположение нижней и верхней частей корпуса фиксируется обычно коническими штифтами, призонными болтами или замком (фиг. 42), чтобы не допустить перекоса наружного кольца подшипника, когда обе половины корпуса стягиваются вместе болтами.

Болты, соединяющие обе части разъемного корпуса, желательно располагать возможно ближе к расточкам под подшипники.

Размеры и расположение посадочных гнезд для подшипников в монолитном корпусе должны выбираться с таким расчетом, чтобы по возможности упростить как обработку их, так и монтаж и демонтаж подшипников.

Во всех случаях, где это возможно, соосные отверстия в корпусе следует проектировать одного размера.

Посадочные гнезда в монолитном корпусе для подшипников качения желательно иметь сквозными, что позволяет



Фиг. 42. Установка сферических роликоподшипников в разъемных корпусах.

В тех случаях, когда можно предусмотреть удобный осмотр подшипников производить обработку их с одного установа и обеспечить соосность.

Для отдельно стоящих корпусов посадочные гнезда выполняются как сквозными, так и открытыми только с одной стороны (фиг. 41, 42).

Очень легкие конструкции корпусов и сопряженных с ними деталей обычно являются причинами возникновения шума в подшипнике.

Для повышения жесткости и увеличения поверхности охлаждения корпусы снабжают ребрами.

Если корпус выполнен с достаточной жесткостью (для предупреждения деформации его под действием внутренних и внешних сил) и правильно выбраны посадки подшипников в его гнездах, обработанных с надлежащей точностью, то можно обеспечить бесшумность вращения вала даже при относительно высоких скоростях.

В верхней части корпуса должны быть предусмотрены каналы для подачи смазки в подшипник и в нижней части для спуска масла — отверстие, заглушенное пробкой.

Для удержания смазки и защиты подшипника от пыли и грязи в корпусе должны устанавливаться соответствующие уплотнения.

Уровень масла контролируют маслоуказателями.

Для осмотра и заливки масла в корпусах редукторов или других механизмов предусматривают смотровое отверстие, которое закрывается крышкой. Кроме того, корпусы редукторов снабжают отдушинами для отвода нагретого воздуха.

Отдельно стоящие корпусы предназначены, как правило, для радиальных сферических двухрядных шарико- и роликоподшипников как на закрепительных втулках, так и без втулок. Однако в практике машиностроения встречаются конструкции механизмов, где в отдельно стоящих корпусах применены несамоустанавливающиеся подшипники, — например, транспортные рольганги прокатных станов. В опорах ролика рольганга установлены двухрядный конический роликоподшипник и роликоподшипник с витыми роликами. В подобных случаях корпусы рекомендуется предусматривать всегда разъемными, что позволит при монтаже оборудования легко производить соосную установку этих корпусов по калибровочному валу (фальшвалу). Отдельно стоящие корпусы должны устанавливаться на опорные поверхности рам (станин) на контрольных штифтах.

Для облегчения монтажа подшипника и торцовых крышек на посадочном гнезде корпуса предусматриваются фаски.

Корпусы изготовляют обычно из серого чугуна марок СЧ 15-32 и СЧ 18-36 по ГОСТ 1412-54. В ответственных механизмах, подверженных вибрации и действию нагрузок, резко изменяющихся по величине, корпусы должны изготовляться из стали или высокопрочного чугуна марки ВЧ 40-10 по ГОСТ 7293-54.

Корпусы могут быть изготовлены также и сварными.

С целью устранения возможности засорения подшипника металлическими частицами и литейной землей внутренняя полость корпуса должна быть тщательно очищена и покрыта маслостойкой краской или лаком.

Вал. Гладкие валы изготовляют преимущественно из углеродистых сталей марок 25, 30, 35, 45 по ГОСТ 1050-52 и Ст. 3, Ст. 4, Ст. 5 нормальной и повышенной по ГОСТ 380-50.

Особенно часто применяют сталь марки 45. Для уменьшения веса вала и его габаритов следует выбирать легированные стали 12ХН2, 12ХН3, 12ХН2Н, 40Х.

Выбор марки стали и ее термообработки зависит от условий работы вала, нагрузки при заданных габаритах, скорости вращения, назначения машины, конструкции вала и его опор.

Определение диаметра вала производится по известным формулам из курса «Сопротивление материалов».

Наибольший прогиб вала между двумя подшипниками должен находиться в следующих пределах:

$$f = (0{,}0001 \div 0{,}0003)L,$$

где L — расстояние между опорами вала.

Иногда принимают максимальное значение прогиба равным 0,01÷0,03 модуля зубчатых колес, сидящих на валу.

Наибольшие углы наклона вала в опорах обычно принимают меньше 0,001 рад. (3,5′). Угол закручивания гладкого круглого вала (или его участка) постоянного диаметра определяют по формуле

$$\varphi = \frac{M_к l}{GJ_p},$$

где $M_к$ — крутящий момент, действующий на вал; l — длина вала; J_p — полярный момент инерции сечения вала; G — модуль упругости второго рода.

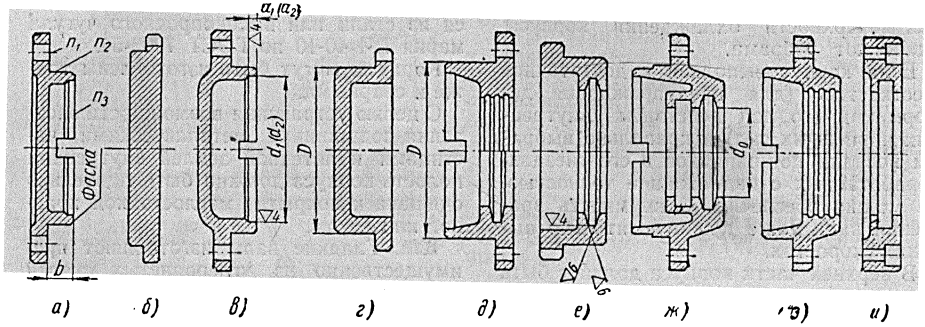
При вынужденно несимметричном расположении опор относительно зубчатого

венца шестерни, для уменьшения неравномерности распределения нагрузки по ширине венца, крутящий момент следует подводить к валу со стороны более удаленной опоры.

На конце посадочной шейки вала под подшипник качения должна быть предусмотрена фаска.

Высота b центрирующего борта принимается в зависимости от назначения крышки в узле (фиксирующая или «плавающая» опора) (фиг. 43 *а*).

Глубину $a_1(a_2)$ расточки по диаметру $d_1(d_2)$ (фиг. 43, *в*) принимают по табл. 3, 6 и 7 в зависимости от размера подшипника.



Фиг. 43. Торцовые крышки: *а* — глухая плоская; *б* — глухая плоская врезная; *в* — глухая выпуклая; *г* — глухая выпуклая врезная; *д* — сквозная плоская; *е* — сквозная выпуклая врезная; *ж* — сквозная выпуклая; *з* — сквозная выпуклая; *и* — сквозная плоская.

Крышки торцовые. Торцовые крышки в узлах служат для крепления подшипников и вала в корпусных деталях и предназначены для восприятия осевых нагрузок. При помощи торцовых крышек в узле производится регулировка осевой игры подшипников (вала). Кроме того, крышки применяют и для герметизации узла.

На фиг. 43 приведены различные конструкции торцовых крышек.

Торцовые крышки должны быть жесткой конструкции, чтобы под действием осевых нагрузок они не деформировались. Болты, крепящие крышки к корпусной детали, рассчитывают на прочность.

Сквозные торцовые крышки обычно снабжают уплотняющими устройствами (фиг. 43 *д*—*и*).

Для подвода смазки к подшипнику или для спуска масла из корпуса в крышках могут быть предусмотрены резьбовые отверстия, которые должны быть заглушены пробками.

На посадочной поверхности D центрирующего борта крышки допускается применять кольцевую проточку (фиг. 43, *ж*). В этом случае крышка может быть установлена на место в произвольном положении без опасения перекрытия смазочных каналов.

На посадочной поверхности D центрирующего борта должна быть предусмотрена фаска.

Крепление в корпусе двухрядного конического роликоподшипника или же сдвоенного комплекта однорядных конических роликоподшипников следует производить через стальную втулку, так как центрирующий борт чугунной крышки является в данном случае тонкостенным и вследствие этого непрочным.

При наличии разъема в корпусной детали, помимо крышек, закрепляемых болтами, в подшипниковых узлах находят применение и врезные крышки (фиг. 43, *б*, *г*, *е*).

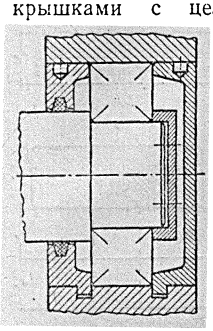
Крышки, закрепляемые болтами, и врезные крышки выполняют в узле одно и то же назначение, но врезные крышки менее универсальны, так как их применение возможно только там, где ось расточки находится в плоскости разъема корпуса.

Чтобы обеспечить возможность осмотра подшипника во время эксплуатации без полной разборки всего механизма, иногда применяют врезные крышки (фиг. 44), у которых упорный борт выполнен только на половине диаметра (даже несколько менее), — это позволяет при снятой верхней крышке повернуть врезную крышку и сместить ее в сторону от подшипника. Такую конструкцию

крышки применяют в тихоходных узлах с незначительными осевыми нагрузками.

При качественном изготовлении врезные крышки оказались вполне герметичными и не допускают утечки масла из узла.

В конструкциях узлов с врезными крышками с целью предупреждения больших осевых перемещений вала или защемления тел качения подшипников необходимо назначать на чертежах допустимые отклонения на соответствующие размеры вала и корпуса. К недостаткам конструкции с врезными крышками следует отнести некоторое усложнение расточки с канавками под крышки и невозможность в некоторых случаях осмотра подшипников без разборки корпуса.



Фиг. 44. Крепление подшипника в разъемном корпусе при помощи врезных торцовых крышек.

Торцовые крышки должны быть изготовлены с высокой точностью; так, например, в тяжелом машиностроении для подшипников классов точности «Н» и «П» приняты следующие допускаемые отклонения:

1. Непараллельность поверхностей n_1 и n_3 для D до 120 *мм* — max 0,045 *мм*; D свыше 120 до 250 *мм* — max 0,07 *мм*; D свыше 250 *мм* — max 0,1 *мм*.

2. Неперпендикулярность поверхности n_1 к оси крышки для радиальных и радиально-упорных подшипников 0,03 : 100; для упорных подшипников 0,015 : 100.

3. Радиальное биение поверхности n_2 относительно поверхности диаметра d_0 — 0,2 *мм*.

Для изготовления торцовых крышек применяют главным образом серый чугун марок СЧ 15-32, СЧ 18-36 и СЧ 28-48 по ГОСТ 1412-54, а также чугун марки ВЧ 40-10 по ГОСТ 7293-54.

Крышки также могут быть изготовлены стальными.

Для устранения возможности засорения подшипника металлическими частицами и литейной землей внутренняя полость крышки должна быть тщательно очищена и покрыта маслостойкой краской или лаком.

Крышки других конструкций проектируются по аналогии.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При проектировании подшипниковых узлов необходимо учитывать возможность осмотра подшипников во время сборки и эксплуатации.

При проектировании узлов с радиально-упорными и упорными подшипниками регулируемого типа необходимо предусматривать возможность тонкой регулировки осевой игры, требующей большой тщательности и высокой квалификации сборщика.

Осевую игру радиально-упорных подшипников регулируют смещением наружных или внутренних колец. В первом случае для регулировки осевой игры применяют металлические прокладки, помещаемые между корпусом и фланцевой поверхностью торцовой крышки.

Применение прокладок из ватманской бумаги или картона не рекомендуется.

Во втором случае для регулирования осевой игры применяют регулировочные гайки (см. фиг. 26 и 28).

Точность регулировки зависит от шага резьбы, количества пазов на гайке и величины угла между усиками на стопорной шайбе.

Для обеспечения возможности самоустановки вала в осевом направлении в корпусе редуктора с шевронным зацеплением только один из подшипников тихоходного вала фиксируется, а подшипники других валов не зафиксированы и могут иметь некоторые осевые перемещения, возникающие в процессе работы вследствие неточности изготовления зубчатого зацепления. В связи с этим для устранения износа посадочных поверхностей корпусной детали в «плавающих» опорах валов рекомендуется применять радиальные роликоподшипники с цилиндрическими роликами и безбортовыми кольцами.

Применение промежуточных стаканов в узле иногда целесообразно, так как расточку посадочных мест в корпусе можно производить за один проход, облегчается защита подшипников от попадания в них посторонних частиц или загрязненного масла, а также значительно упрощается монтаж подшипникового узла. Сборку подшипников (регулируемого типа) со стаканами на валу производят отдельно, и после необходимой регулировки собранный комплект устанавливают на свое место в корпус.

В опорах вала червяка глобоидного редуктора и ведущего вала редуктора с коническими шестернями промежуточные стаканы позволяют производить регули-

ровку зацепления в осевом направлении комплектом металлических прокладок, устанавливаемых между корпусом и фланцевой поверхностью стакана.

Установку двух радиальных или радиально-упорных подшипников нерегулируемого типа на одной шейке вала следует производить только в случаях крайней необходимости, так как практически очень трудно подобрать пару подшипников, которые воспринимали бы в опоре радиальную нагрузку в равной степени.

Болты, резьбовые крышки и гайки, крепящие подшипники на валу и в корпусе, должны быть законтрены посредством проволоки, пластин и специальных шайб.

В фиксирующих и «плавающих» опорах с подшипниками нерегулируемого типа необходимо предусмотреть картонные прокладки между корпусом и фланцевой поверхностью крышки во избежание повреждения чугунных торцовых крышек от усилия затяжки болтов, а также для устранения утечки смазки из узла.

Дистанционные втулки, соприкасающиеся с манжетными уплотнениями или войлочными кольцами, должны быть закреплены на валах от проворота.

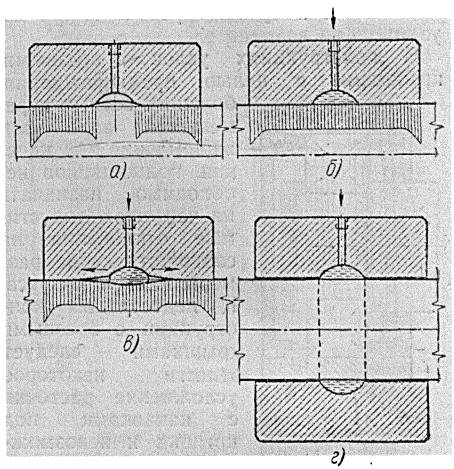
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ РАСПРЕССОВКЕ МАСЛОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДО 2000 *атм*

Основные сведения. Новый способ разборки и сборки прессовых соединений диаметром от 100 *мм* и более с применением масла под высоким давлением находит все большее распространение.

При этом способе устраняются недостатки обычной распрессовки соединения благодаря вводу между контактными поверхностями соединения минерального масла и, следовательно, уменьшение между ними сил трения.

Под высоким давлением масла (до 2000 *атм*) происходят упругие расширения отверстия охватывающей детали и уменьшение диаметра вала, в результате чего непосредственный контакт сопрягаемых поверхностей полностью исчезает и создаются условия легкой распрессовки соединения.

Последовательность постепенного изменения посадочного натяга при вводе масла в распределительную проточку для распрессовки показана на фиг. 45.



Фиг. 45. Схема проникновения масла в соединение: *а* — масло не подано; *б* — давление масла равно давлению кромок распределительной проточки; *в* — масло проникает в соединение; *г* — слой масла разъединяет детали.

Посадочные поверхности соединения. Посадочные поверхности прессового соединения могут иметь коническую или цилиндрическую формы.

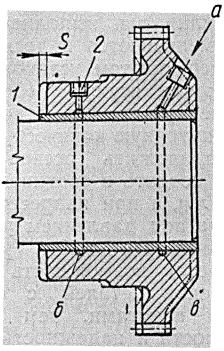
Особенно эффективно применение масла под давлением для распрессовки конических соединений, т. к. при подаче масла на контактной поверхности возникают расклинивающие усилия, от которых соединение автоматически разъединяется без приложения извне какого-либо дополнительного усилия.

Учитывая эту особенность, рекомендуется в случаях применения в прессовом соединении цилиндрической шейки вала предусмотреть установку промежуточной неразрезной конической втулки *1*, как показано на фиг. 46.

Применением масла под давлением для цилиндрических соединений не обеспечивается полная распрессовка, так как при перемещении охватывающей детали распределительная проточка на валу выходит из зоны контакта соединения, и дальнейшая распрессовка становится невозможной (фиг. 47).

Окончательная разборка такого соединения может быть выполнена только с

использованием механического или гидравлического приспособлений. Поэтому для распрессовки цилиндрических соединений преимущества этого способа не могут быть использованы в полной



Фиг. 46. Установка полумуфты на цилиндрической шейке вала с промежуточной неразрезной конической втулкой.

мере. Однако и в этом случае данный способ позволяет применять пресса меньшей мощности и значительно сокращает время распрессовки соединения. Так, например, при снятии подшипника с цилиндрической шейки этот способ допускает в начале сдвига применение демонтажного инструмента, который может захватить легко доступное наружное кольцо подшипника, так как в этом случае усилие расспрессовки незначительно и передача его через тела качения вполне допустима. Затем подшипник перемещается под давлением масла по шейке вала настолько, что распределительная проточка окажется за пределами подшипника, после чего становится возможным снять подшипник с вала при помощи демонтажного инструмента с захватом его уже за торец внутреннего кольца.

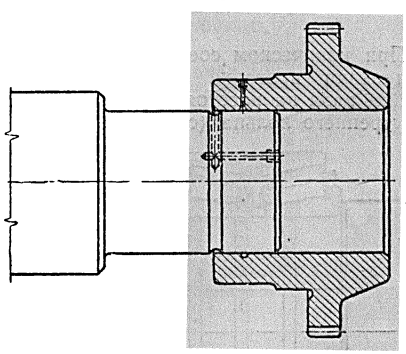
Подвод и отвод масла под высоким давлением. Подвод масла к прессовому соединению производится через вал или охватывающую деталь к тому месту посадки, где предполагается максимальное контактное напряжение между сопряженными поверхностями, — в противном случае подвод масла под высоким давлением может вызвать в местах менее напряженных остаточные деформации и ослабление прессового соединения.

При конических сопряженных поверхностях в месте меньшего контактного давления предусматривается дополнительная проточка для отвода масла при сборке соединения. Масло, проникая к концевой части ступицы, заполняет эту проточку, а по окончании сборки винт 2 (фиг. 46) вывертывается, и масло выдавливается наружу.

Отводящие проточки и осевые канавки служат для того, чтобы при сборке облегчить и ускорить отвод масла, так как вследствие неправильной геометрии посадочных поверхностей возможно образование масляных карманов, ослабляющих прессовое соединение.

В зависимости от длины и формы охватывающей детали прессового соединения с цилиндрическими сопряженными поверхностями, количество распределительных проточек для нагнетания масла может быть принято равным 1—3.

Для облегчения разборки прессового соединения с цилиндрическими сопряженными поверхностями вторая проточка может служить также и для нагнетания масла. Подвод масла в месте наименьшего давления (фиг. 47) в данном



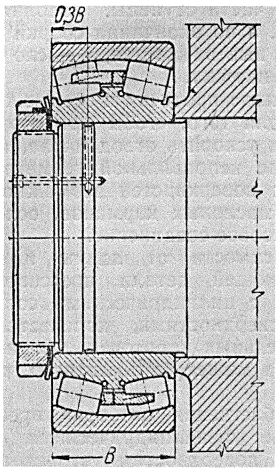
Фиг. 47. Расположение подводящих каналов и распределительных проточек при цилиндрическом прессовом соединении.

случае возможен, так как часть охватывающей детали с наибольшей жесткостью не находится в контакте с валом.

Расположение распределительных проточек на шейке вала. При цилиндрическом соединении распределительную проточку рекомендуется располагать на шейке вала на расстоянии $0{,}3B$ от торца внутреннего кольца подшипника (фиг. 48).

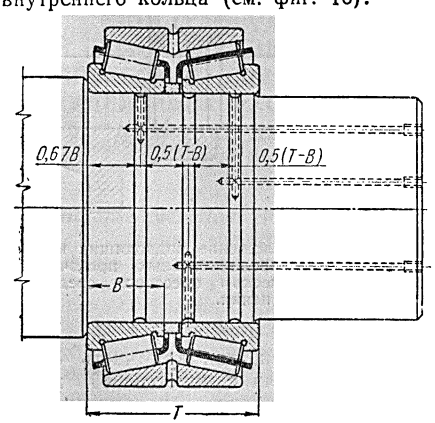
Для двухрядных конических роликоподшипников (ГОСТ 6364-52) шейка

вала выполняется с тремя распределительными проточками (фиг. 49).



Фиг. 48. Расположение подводящего канала и распределительной проточки на цилиндрической шейке вала.

При коническом соединении распределительная проточка располагается на шейке вала на расстоянии $0{,}4B$ от торца внутреннего кольца (см. фиг. 16).



Фиг. 49. Расположение подводящих каналов и распределительных проточек на цилиндрической шейке вала.

При установке же на конусную шейку вала четырехрядного конического роликоподшипника распределительные проточки должны быть расположены на шейке вала так, как указано на фиг. 32.

Способ сборки и разборки прессовых соединений с помощью масла под давлением

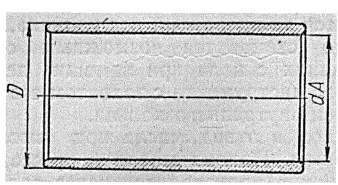
1. Сокращается мощность оборудования, применяемого для запрессовки и распрессовки соединений, так как необходимые усилия для выполнения этих операций уменьшаются в десятки раз. Так, например, опытом установлено, что при запрессовке всухую (без масла) муфты на шейку вала диаметром 200 *мм* через промежуточную коническую втулку требуется приложить осевое усилие 350 *т*, чтобы создать в соединении натяг порядка 0,3 *мм*, а при напрессовке с помощью масла под давлением усилие запрессовки снижается до 30 *т*.

2. Достигается возможность применения соединений деталей с бóльшими посадочными натягами, чем обеспечивается прочность и надежность соединения, а также передача больших крутящих моментов.

3. Сокращается время, затрачиваемое на запрессовку и распрессовку прессовых соединений.

4. Масляная прослойка в соединении, создаваемая давлением насоса, обеспечивает жидкостное трение сопрягаемых поверхностей, в связи с чем возможны многократные запрессовки и распрессовки деталей без потери прочности соединения и механического повреждения посадочных поверхностей.

Коническая втулка для прессового соединения. Для прессовых соединений рекомендуется наружную поверхность конической втулки (фиг. 50) выполнить с конусностью от 1 : 30 до 1 : 50. Бóльшую



Фиг. 50. Коническая втулка.

конусность следует применять для узких соединений. Длина втулки определяется шириной соединения, а также величиной необходимого при монтаже осевого перемещения S (см. фиг. 46).

Осевое перемещение детали, устанавливаемой с натягом:

на неразрезной промежуточной кони-

$$S_1 = \frac{1}{K}(\Delta + e + 8H);$$

ческой втулке на конической поверхности вала

$$S_2 = \frac{1}{K}(\Delta + 4H),$$

где K — конусность сопрягаемых поверхностей; Δ — расчетный посадочный натяг в коническом соединении; e — посадочный зазор между валом и промежуточной втулкой; $H = 0{,}0025 \div 0{,}005$ *мм* — смятие гребешков на каждой посадочной поверхности.

Промежуточные неразрезные втулки могут изготовляться из стали любой марки с твердостью *НВ* 200—250.

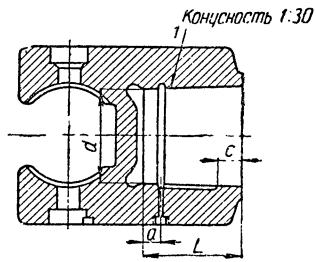
Конические поверхности втулки и отверстия охватывающей детали должны быть точно обработаны.

Наименьший диаметр конуса втулки (фиг. 50) рекомендуется принимать равным $D = (1{,}07 \div 1{,}03)d$, где d — номинальный диаметр вала и втулки.

Внутренний диаметр втулки d обрабатывается с допуском по 2-му классу точности.

Посадочная поверхность шейки вала диаметром до 200 *мм* обрабатывается по посадке С по ОСТ 1012, а при диаметрах больше 200 *мм* — с отклонениями $С_{2а}$ по ОСТ НКМ 1016.

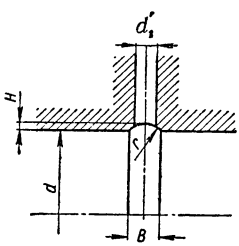
Распределительные проточки и подводящие каналы. Размеры распределительных проточек и подводящих каналов приведены в табл. 16.

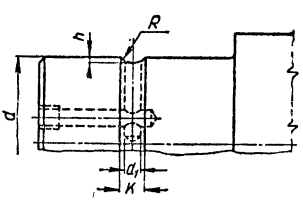


Фиг. 51. Расположение подводящего канала, распределительной проточки и осевых канавок в полумуфте с диаметром $d < 200$ *мм*.

На фиг. 51—54 и в табл. 17 показаны примеры относительного расположения

16. Размеры распределительных проточек и подводящих каналов в *мм*





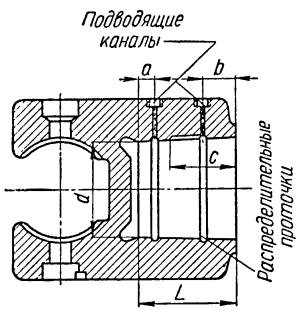
Минимальный диаметр d посадочного места	Все детали соединения, кроме подшипников качения				Посадочные шейки для подшипников качения			
	B	H	r	d'_1	K	h	R	d_1
До 30	2,5	0,5	2,0	2	2	0,3	2	2
30—50	3	0,5	2,5	2,5	2,5	0,5	2	2
50—100	4	0,8	3	3	3	0,5	2,5	2,5
100—150	5	1,0	4	4	4	0,8	3	3
150—200	6	1,25	4,5	5	4	0,8	3	3
200—250	7	1,5	5	5	5	1	4	4
250—300	8	1,5	6	6	5	1	4	4
300—400	10	2,0	7	7	6	1,25	4,5	5
400—500	12	2,5	8	8	7	1,5	5	5
500—650	14	3,0	10	10	8	1,5	6	6
650—800	16	3,0	12	12	10	2	7	7
800—1000	18	4,0	12	12	12	2,5	8	8

17. Расположение подводящих каналов, осевых канавок и распределительных проточек в полумуфтах

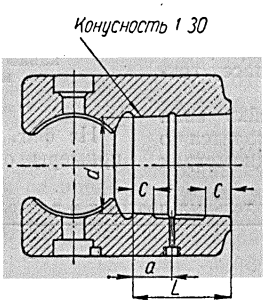
Минимальный диаметр отверстия d в *мм*	Номер фигуры	Подводящие каналы			Осевые канавки, расположенные равномерно по окружности			
		Количество	a	b	Количество	c	глубина в *мм*	ширина в *мм*
< 200	51	1	$0{,}15L$	—	3	$0{,}25L$	0,05—0,10	0,25
$\geqslant 200$	52	2	$0{,}15L$	$0{,}3L$	6	$0{,}6\ L$		
$\geqslant 300$	53	1	$0{,}4\ L$	—	3	$0{,}25L$		
$\geqslant 300$	54	2	$0{,}2\ L$	$0{,}2L$	6	$0{,}6\ L$		

подводящих каналов, осевых канавок и распределительных проточек в полумуфтах в зависимости от размеров посадочных поверхностей.

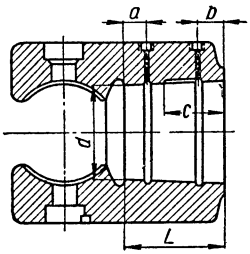
В Советском Союзе исследовательские работы по теоретическому и практическому обоснованию применения масла под давлением для разборки и сбор-



Фиг. 52. Расположение подводящих каналов, распределительных проточек и осевых канавок в полумуфте с диаметром $d \geqslant 200$ *мм*.



Фиг. 53. Расположение подводящего канала распределительной проточки и осевых канавок в полумуфте с диаметром $d < 300$ *мм*.



Фиг. 54. Расположение подводящих каналов, распределительных проточек и осевых канавок в полумуфте с диаметром $d \geqslant 300$ *мм*.

В зарубежной практике применение масла под давлением для разборки и сборки прессовых соединений широко распространено во многих отраслях машиностроения.

ки прессовых соединений проведены на Уральском заводе тяжелого машиностроения (УЗТМ) и в Центральном конструкторском бюро металлургического машиностроения (ЦКБММ) при ЦНИИТМАШе.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

Ачеркан Н. С., Расчет и конструирование металлорежущих станков, Машгиз, 1944.

Цыпкин Б. В., Альшиц И. Я. и Томашов А. Д., Подшипниковые узлы прокатного оборудования, Машгиз, 1954.

Пальмгрен А., Шариковые и роликовые подшипники, перевод с английского, Машгиз, 1949.

Энциклопедический справочник «Машиностроение», том 2, Машгиз, 1948.

Глава VIII

МОНТАЖ И ДЕМОНТАЖ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ПОДШИПНИКАМИ

Одним из основных условий, от соблюдения которых зависит срок службы подшипников, является обеспечение чистоты подшипников и сопрягаемых с ними деталей узла.

Подшипники со склада должны доставляться на сборочные места в сохранной упаковке. Вынимать их из коробок и снимать упаковочную бумагу не следует до тех пор, пока не будет все подготовлено к установке подшипников на место.

Перед монтажом подшипники необходимо тщательно промывать.

ПРОВЕРКА ПОДШИПНИКОВ ПЕРЕД МОНТАЖОМ

Качество подшипников должно полностью соответствовать техническим условиям ГОСТ 520-55, а в особых случаях — специальным дополнительным техническим условиям.

Согласно ГОСТ, обычно проверяют внешний вид, маркировку, а также легкость вращения подшипника.

У прецизионных и высокооборотных подшипников, а также подшипников специального назначения нередко проверяют также габаритные размеры, величину начальных радиального и осевого зазоров, биение колец подшипника, шумность и другие параметры, оговоренные специальными дополнительными техническими условиями.

Проверка внешнего вида подшипника производится визуально с целью выявления качества рабочих поверхностей колец, тел качения и сепаратора. Нельзя применять подшипники, имеющие на рабочих и монтажных поверхностях колец и телах качения коррозию и ожоги, трещины, сколы, забоины, вмятины и другие механические повреждения, чрезмерное провисание сепаратора, а также сепараторы деформированные, с дефектной сваркой и клепкой.

Маркировку подшипника проверяют на соответствие клейм (цифр и букв) на его кольцах, заключающих в себе условное обозначение подшипника (размер, тип и конструктивные особенности), а также обозначение класса точности, радиального зазора, дополнительных обозначений подшипников по ГОСТ 520-55 и 3189-46, ведомственным нормалям и инструкциям ЕТУ-100, ОН-2-57, И-6, И-18, И-20-58 и др. и комплектовочной маркировки подшипников с невзаимозаменяемыми деталями.

Легкость вращения и шумность подшипников малых и средних размеров обычно проверяют вращением от руки одного из колец подшипника при неподвижном другом кольце. При этом подшипник должен быть расположен горизонтально. Подшипники, предварительно тщательно промытые, должны вращаться плавно, без заедания и торможения, с шумом, не превышающим шум эталонного подшипника.

В особых случаях легкость вращения и шумность подшипников проверяют при помощи специальных приборов.

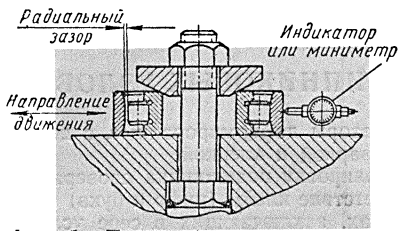
Проверку радиальных зазоров в радиальных шарикоподшипниках, а также в роликоподшипниках с цилиндрическими и витыми роликами производят на специальном приспособлении.

Для проверки радиального зазора внутреннее кольцо подшипника закрепляют на приспособлении (фиг. 1), а к наружному кольцу подшипника подводят наконечник индикатора, закрепленного на стойке. Перемещая наружное кольцо в направлении индикатора и обратно, определяют величину радиального зазора по крайним отклонениям стрелки.

Радиальный зазор измеряют в четырех местах, поворачивая наружное кольцо подшипника при каждом измерении на 90°. За окончательную величину

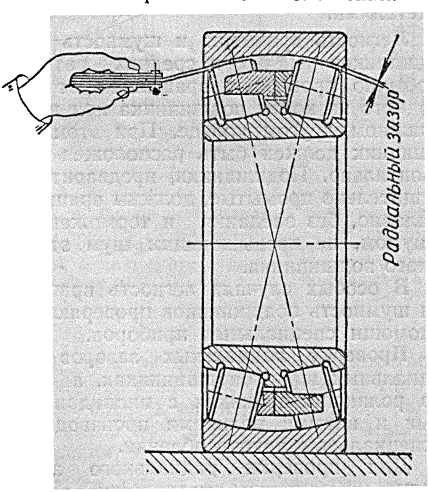
радиального зазора принимают среднее значение четырех измерений.

Радиальные зазоры в радиальных двухрядных сферических роликоподшипниках и роликоподшипниках с цилиндрическими роликами без бортов на наруж-



Фиг. 1. Приспособление для измерения радиального зазора в радиальных шарико- и роликоподшипниках (принципиальная схема).

ных кольцах, при диаметре отверстия свыше 60 *мм*, можно проверить при помощи щупа (фиг. 2). При измерении радиального зазора подшипник следует установить в вертикальном положении.



Фиг. 2. Измерение радиального зазора в сферическом роликоподшипнике щупом.

Для измерения зазора вводят пластинку щупа между верхним роликом и рабочей поверхностью наружного кольца при неподвижном внутреннем кольце. Ролики при измерении зазора должны плотно прилегать своими торцами к борту внутреннего кольца.

Способы проверки осевой игры у конических двухрядных роликоподшипников приведены на стр. 249 и у четырехрядных — на стр. 259.

Проверка габаритных размеров подшипников производится специальным измерительным инструментом. Диаметр отверстия подшипника измеряют индикаторным нутрометром, а диаметр наружной поверхности подшипника — микрометром. Ширину колец подшипника определяют микрометром или штангенциркулем. Допускаемые отклонения размеров отверстия и наружной поверхности колец подшипников приведены в табл. I, 3, 5, 7, г. IV.

При измерении диаметров колец замеры производят в двух местах по ширине колец и в двух-трех местах по окружности (через 120°).

Контроль габаритных размеров крупногабаритных подшипников с диаметром отверстия выше 300 *мм* следует производить при их горизонтальном положении.

ПОДГОТОВКА К МОНТАЖУ СОПРЯГАЕМЫХ С ПОДШИПНИКАМИ ДЕТАЛЕЙ

Работоспособность подшипников качения в значительной степени зависит от качества механической обработки сопрягаемых с подшипником деталей. Несоблюдение требований ГОСТ 3325-55 к посадочным поверхностям вала и корпуса может привести к нарушению посадки или недопустимым деформациям колец подшипников и преждевременному их выходу из строя. Поэтому перед сборкой подшипниковых узлов необходим контроль чистоты поверхности и размеров деталей, сопрягаемых с подшипниками.

Перед внешним осмотром посадочные поверхности промывают керосином и насухо протирают чистыми тряпками.

Посадочные поверхности валов и корпусов, а также упорные заплечики и галтели должны быть чистыми и гладкими, без заусенцев, забоин, царапин, вмятин и коррозии. Острые кромки должны быть притуплены. При осмотре необходимо также проверить наличие фасок на краях посадочных мест вала и корпуса (см. фиг. 38, гл. VII), облегчающих установку подшипников.

Изложенное относится также к другим поверхностям сопряженных с подшипниками деталей, например, к торцам распорных втулок, дистанционных колец, фланцевых крышек, фиксирующих шайб, а также к плоскостям разъема корпусов.

Детали не должны иметь повреждений, снижающих их прочность, — трещин, раковин и т. д.

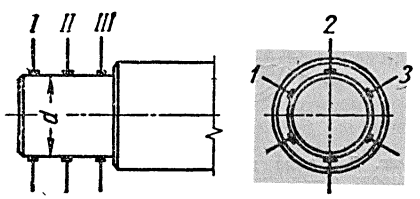
Необработанные поверхности литых корпусов должны быть тщательно очищены от формовочной земли, металлических частиц и коррозии и покрыты маслостойкой краской или лаком.

Должны быть также проверены и прочищены маслопроводы и дренажные отверстия.

Контроль чистоты посадочных поверхностей. Чистоту посадочных поверхностей валов и корпусов, а также упорных заплечиков проверяют сравнением с соответствующими специальными эталонами чистоты поверхности, предусмотренными для этой цели. Чистота обработки посадочных мест валов и отверстий корпусов при применении посадок по ГОСТ 3325-55 должна быть не ниже соответствующих классов, указанных в табл. 20 гл. IV.

Чистота посадочных поверхностей валов для шарико- и роликоподшипников на закрепительных или закрепительно-стяжных (буксовых) втулках должна быть не ниже 6-го класса по ГОСТ 2789-59.

Контроль основных размеров посадочных мест. Контроль размеров диаметров шеек валов *d* и отверстий корпусов *D* производят в нескольких сечениях по длине посадочной поверхности (сечения *I*, *II*, *III* фиг. 3 и 4). В каждом

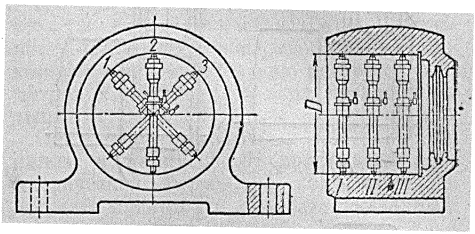


Фиг. 3. Схема измерений посадочного места вала: *I—III* — последовательность измерений по длине; *1—3* — последовательность измерений по окружности.

сечении измерения производят в трех диаметральных направлениях *1*, *2*, *3* через 120° и среднеарифметическое значение диаметра принимают за фактический размер. Диаметры шеек валов измеряют микрометрами, а диаметры отверстий корпусов — индикаторными нутромерами или штихмасами; могут быть использованы также предельные скобы и пробки.

Допускаемые предельные отклонения размеров диаметров посадочных мест, соответствующие заданной посадке, приведены в табл. 1, 3, 5, 7, гл. IV.

Перед контролем размеров посадочных мест в разъемных корпусах необходимо щупом толщиной 0,03—0,05 *мм* проверить плотность и равномерность прилегания



Фиг. 4. Схема измерений посадочного места корпуса: *I—III* — последовательность измерений по длине; *1—3* — последовательность измерений по окружности вала.

крышки к основанию корпуса в плоскости разъема, при этом болты, соединяющие основание корпуса с крышкой, должны быть затянуты до отказа. Неплотность допускается только на незначительных участках плоскости разъема.

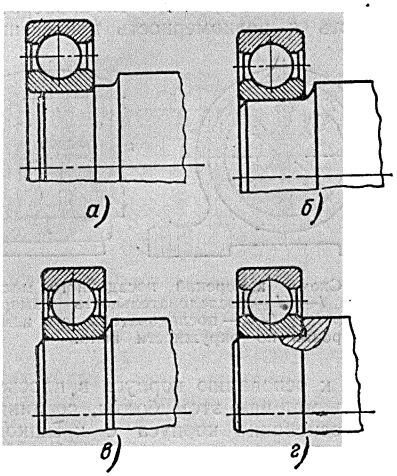
Во многих случаях для обеспечения правильной сборки сопряженных с подшипником деталей, в частности, для обеспечения совпадения смазочных каналов в отдельных деталях узла, облегчения установки уплотняющих устройств и регулирования подшипников, необходим контроль длины посадочного места и расстояния между заплечиками посадочных шеек вала. Особое значение последняя проверка имеет при сборке опор с радиально-упорными подшипниками регулируемых типов.

Гнезда корпусов или стаканов, в которых устанавливают регулируемые или неразъемные подшипники плавающих опор, необходимо также проверять на легкость осевого перемещения в них наружных колец подшипников. Последние должны передвигаться на всю длину посадочного места от легких ударов по торцу кольца молотком через выколотку.

Нельзя монтировать подшипники на посадочные поверхности вала и корпуса, размеры которых выходят за пределы допуска выбранной посадки. При чрезмерном ослаблении посадки кольца подшипников в процессе работы будут интенсивно проворачиваться на посадочных местах, вызывая их быстрый износ.

Необходимо тщательно проверять галтели и опорные заплечики вала и корпуса,

а также размеры посадочных поверхностей вблизи галтелей, так как в этих местах часто имеются дефекты, показанные на фиг. 5, *а* — *г*.



Фиг. 5. Примеры неправильной обработки галтели и упорного заплечика вала: *а* — ступенчатый переход; *б* — увеличенный радиус галтели; *в* — завал заплечика; *г* — подрезка заплечика.

В этих случаях торец внутреннего кольца подшипника не имеет полного контакта с опорной поверхностью заплечика вала, что необходимо для правильного восприятия осевой нагрузки подшипником фиксирующей опоры.

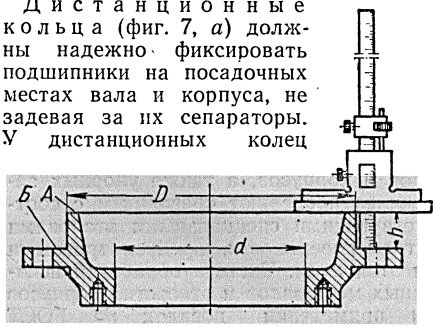
Размеры радиусов галтелей, в зависимости от координат фасок подшипников, приведены в табл. 2 гл. VII в соответствии с ГОСТ 4253-48. Радиусы галтелей у посадочных мест валов и корпусов проверяют радиусомерами или специально изготовленными шаблонами. Контролю подвергаются также размеры высоты заплечиков вала и корпуса, которые должны быть достаточны для надежного упора колец подшипников и для обеспечения возможности правильного проведения демонтажа подшипников.

Размеры высоты упорных заплечиков в зависимости от типа и серии подшипников приведены в табл. 3—10, гл. VII.

У торцовых крышек фиксирующих опор (фиг. 6) проверяют правильность обработки направляющей центрирующей части бурта (высота h, диаметры d и D), а также параллельность опорных торцов *А* и *Б*.

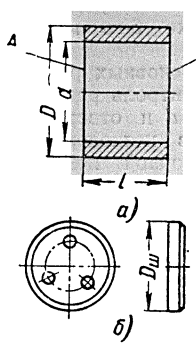
Непараллельность опорных торцов *А* и *Б* допускается не выше значений, приведенных в табл. 22—23, гл. IV, и может быть проверена контрольной линейкой или штангенглубиномером.

Дистанционные кольца (фиг. 7, *а*) должны надежно фиксировать подшипники на посадочных местах вала и корпуса, не задевая за их сепараторы. У дистанционных колец



Фиг. 6. Схема проверки торцовой крышки.

проверяют размеры d, D и l, а также параллельность торцов *А* и перпендикулярность их посадочной цилиндрической поверхности к торцу.



Фиг. 7. Схема проверки габаритных размеров: *а* — дистанционного кольца и распорной втулки; *б* — торцовой шайбы.

Боковое биение торцов колец, сопрягаемых с радиально-упорными и упорными подшипниками, не должно превышать величин осевого биения заплечиков вала или корпуса, приведенных в табл. 22—23, гл. IV.

У торцовых шайб проверяют расположение отверстий для болтов относительно центра наружной поверхности и диаметр шайб (фиг. 7, *б*).

Контроль геометрической формы. Правильность геометрической формы посадочных поверхностей имеет большое значение, так как кольца подшипников

являются тонкостенными деталями и при посадках с натягом деформируются, принимая форму посадочного места.

В контроль геометрической формы посадочных поверхностей входит проверка:

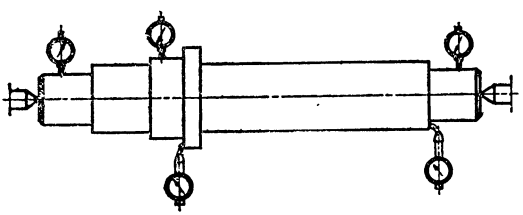
а) прямолинейности валов;

б) эксцентричности и овальности посадочных мест;

в) конусности и прямолинейности посадочных мест;

г) торцового биения упорных заплечиков;

Проверка прямолинейности валов производится в центрах на токарных станках или в специальных люнетах индикатором или миниметром (фиг. 8).



Фиг. 8. Проверка вала в центрах.

К посадочным местам установленного в центрах вала подводят ножку индикатора или миниметра. Ножка индикатора должна быть перпендикулярна оси проверяемого вала. Перед контролем стрелку индикатора устанавливают на нуль.

Колебание стрелки индикатора за один оборот вала указывает на биение вала в проверяемом сечении относительно его оси, равное удвоенной величине эксцентрицитета. Если в различных сечениях по длине вала величина эксцентрицитета будет меняться, увеличиваясь к середине вала, это указывает на то, что вал искривлен.

Эксцентричность и овальность посадочных мест. Если при одном обороте установленного в центрах вала стрелка индикатора отклонилась от нуля и возвратилась в исходное положение, то это указывает на эксцентричность посадочной поверхности. Если при вращении вала на один оборот стрелка индикатора дважды отклоняется от нуля, то посадочная поверхность имеет овальность. Овальность можно выявить также при трехкратных (через 120°) измерениях диаметра посадочной поверхности в одном сечении универсальным измерительным инструментом.

Определение овальности и посадочного места вала или корпуса (см. гл. IV).

Конусность и прямолинейность посадочных мест. Конусность посадочной поверхности вала или корпуса определяется как разность диаметров в крайних сечениях посадочного места (см. гл. IV).

Отклонения посадочных поверхностей валов и корпусов от правильной геометрической формы по конусности не должны превышать величин, указанных в табл. 21, гл. IV.

Прямолинейность посадочных поверхностей шеек валов проверяется лекальной линейкой по световой щели. Более точно выявить неровности на поверхности посадочных мест можно лекальной линейкой по краске. Для этого длинную узкую грань точной лекальной линейки покрывают тонким слоем краски, после чего прикладывают ее к поверхности шейки в продольном направлении и, слегка нажимая на линейку, перемещают ее вдоль шейки. Затем линейку снимают и по следам краски на шейке определяют состояние ее поверхности.

Торцовое биение упорных заплечиков. Биение S (фиг. 7, 8, гл. IV) упорных заплечиков вала и корпуса проверяют при обработке на станках при помощи индикатора или миниметра.

Допустимые величины биения заплечиков валов и корпусов приведены в табл. 22, 23, гл. IV.

Завал и поднутрение заплечка (см. фиг. 5, *в*, *г*) проверяют при помощи угольника со срезанным углом у основания.

Проверка конической шейки вала. Проверка размера и геометрических форм конического посадочного места на шейке вала производится по краске специальным кольцевым калибром. При проверке калибр, покрытый легким слоем краски, насаживают плотно от руки на шейку вала и проворачивают примерно на $^1/_4$ оборота. У правильно обработанной шейки калибр должен прилегать к посадочной шейке вала на поверхности, составляющей не менее 75% ее общей площади.

Устранение дефектов механической обработки на посадочных поверхностях валов и корпусов. Нельзя монтировать подшипники на валы и в корпусы, посадочные места которых имеют:

а) механические повреждения;

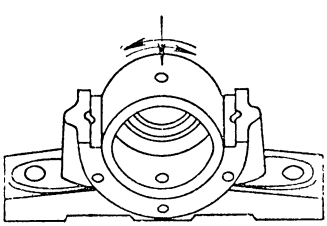
б) повышенные овальность и конусность;

в) несоосность;

г) отступления от технических требований, указанных в чертежах.

Незначительные механические повреждения на посадочных местах устраняют личным напильником с последующей зачисткой этих мест мелкой шлифовальной шкуркой. Коррозийные пятна и налеты удаляют мелкой шлифовальной шкуркой и пастой ГОИ. «Прослабленные» шейки валов исправляют хромированием или металлизацией.

Доводку до необходимых размеров шеек валов с завышенными размерами диаметров и гнезд корпусов с заниженными размерами диаметров следует проводить путем механической обработки только на станочном оборудовании. Для крупногабаритных корпусов при незначительных отступлениях и отсутствии соответствующего механического оборудования в виде исключения допускается доводка посадочных мест шабрением. Гнезда разъемных корпусов могут быть проверены в этом случае калибром или наружным кольцом подшипника с номинальным размером (фиг. 9) по краске: отпечатки краски

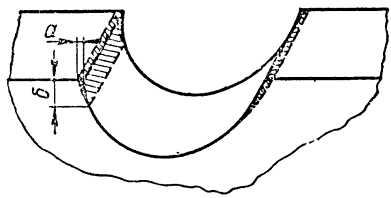


Фиг. 9. Проверка обработки посадочного места в корпусе специальным кольцевым калибром.

должны занимать не менее 70% всей площади посадочной поверхности корпуса и крышки.

Искривленные валы выправляют рихтовкой.

Для устранения возможного «закусывания» подшипника в радиальном направлении по плоскости разъема вследствие деформации корпуса в результате старения или из-за дефектов механической обработки рекомендуется производить развал-расшабривание боковых площадок посадочных мест корпуса и крышки (фиг. 10). Расшабривание производят начиная от плоскости разъема с размера *а*, сводя его на нет на глубине *б*, по данным, приведенным в табл. 1. Контроль развалки производится шаблоном, а при установленном в корпус кольце подшипника — щупом.



Фиг. 10. Расшабривание боковых площадок посадочных мест половин корпуса.

1. Рекомендуемые размеры расшабривания посадочных мест в *мм*

Диаметр *D*		Размер развалов	
свыше	до	*а*	*б*
—	120	0,10	10
120	260	0,15	15
260	400	0,20	20
400	700	0,30	30
700	1000	0,40	40

Проверка соосности посадочных мест в корпусах. Соосность посадочных мест для подшипников качения в общем корпусе, как правило, обеспечивается технологией их обработки, т. е. расточкой с одного установа.

Соосность посадочных мест для подшипников качения в раздельно стоящих корпусах контролируют:

а) калибровочным валом;

б) наружными кольцами подшипников, уровнем, контрольной линейкой и щупом;

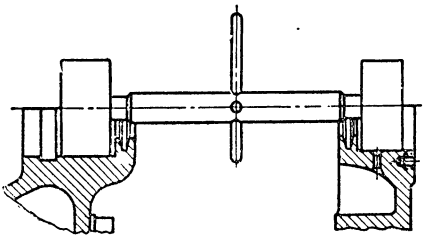
в) по расположению посадочного радиального зазора в роликоподшипниках;

г) специальными окулярами;

д) гидростатическим методом.

Контроль соосности отверстий, а также установка и выверка разъемных корпусов при расстояниях между опорами до 2 *м* и средних размерах подшип-

ников может быть выполнена с использованием калибровочного вала (фальшвала) жесткой конструкции (фиг. 11).



Фиг. 11. Проверка посадочных мест при помощи калибровочного вала.

Наружные поверхности дисков калибровочных валов должны быть обработаны в пределах допусков, установленных для размера диаметра наружной поверхности соответствующих им подшипников.

При контроле соосности отверстий диски калибровочного вала покрывают тонким слоем краски и устанавливают в посадочные места. С помощью стержня, вставленного в поперечное отверстие державки, калибры проворачивают в посадочных местах несколько раз в обе стороны.

По оставленным на посадочных местах следах краски определяют взаимное расположение отверстий. При правильном (соосном) расположении осей следы краски должны одинаково по всей длине покрыть нижние зоны двух посадочных мест (фиг. 12).

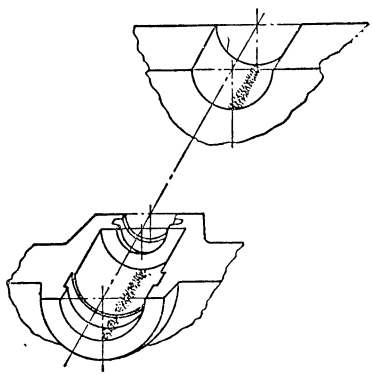
Всякое другое расположение отпечатков краски будет указывать на несоосность посадочных мест. Незначительные искажения посадочных мест можно исправить шабрением.

При серийном монтаже узлов с многоопорными валами и одинаковыми корпусами и небольшом расстоянии между опорами установку корпусов можно проверять тремя калибровными дисками, смонтированными на калибровочном валу. Для этого устанавливают одновременно три диска в три опоры. После проверки опор перемещают диски на один корпус вправо или влево и, таким образом, по двум корпусам устанавливают третий и т. д.

Установка корпусов по контрольной линейке, уровню, щупу и наружным кольцам подшипников. При проверке контрольную линейку *1* устанавливают на наружные кольца подшипников (фиг. 13) и с помощью уровня *2* и щупа проверяют правильность установки корпусов по высоте (положение *I*).

Для проверки правильности установки корпусов в горизонтальной плоскости (положение *II*) контрольную линейку укладывают на плоскости разъема корпусов и прижимают к наружным кольцам подшипников.

При установке корпусов с различными диаметрами расточек посадочных мест



Фиг. 12. Расположение следов краски на посадочных местах при соосном расположении посадочных мест.

надо применить специальные калиброванные пластинки *3*, компенсирующие эту разницу в диаметрах.

Установленную по кольцам линейку перемещают на один корпус вправо или влево и, таким образом, по двум ранее выверенным корпусам проверяют установку следующего корпуса и т. д.

Установка корпусов по расположению радиального зазора в роликоподшипниках. Проверку производят щупом после установки вала с подшипниками в корпус.

Между роликами и дорожкой качения наружного кольца в ненагруженной зоне каждого подшипника вводят пластинку щупа и продвигают ее по окружности до упора в зажатые между кольцами ролики в двух противоположных направлениях.

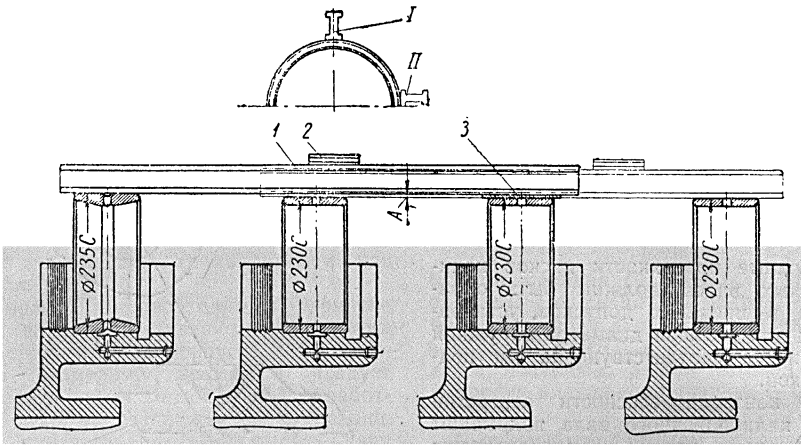
Затем на листе бумаги отмечают в виде круговой диаграммы, соответству-

ющей четырем последовательным положениям вала (через 90° до полного его оборота), конечные точки *а* и *б* (фиг. 14) продвижения щупа.

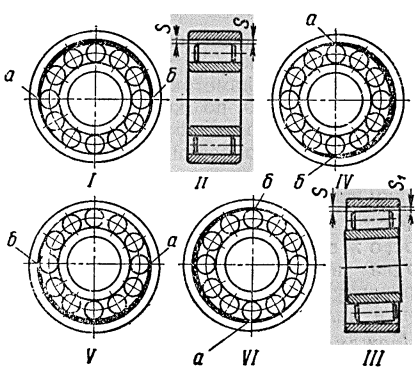
Радиальный зазор у роликоподшипников, корпуса которых установлены правильно, должен быть расположен симметрично относительно вертикальной оси в ненагруженной зоне между точками *а* и *б* (фиг. 14, *I*), иметь (в случае применения роликоподшипников с цилиндрическими роликами) одинаковую величину зазора *S* с обеих сторон по концам роликов (фиг. 14, *II*). Различное значение зазора *S* с обеих сторон одного ролика (фиг. 14, *III*) указывает на угловое смещение оси корпуса относительно оси вала.

Если при проворачивании вала окажется, что радиальный зазор в ненагруженной зоне подшипника расположен несимметрично относительно вертикальной оси и при повороте вала на один оборот расположение зазора не изменяется, то это указывает на неправильную установку корпуса по отношению к валу. В таких случаях для правильной установки необходимо произвести соответствующие смещения корпусов, т. е. при положении *IV* корпус сдвинуть влево, при положении *V* корпус приподнять и при положении *VI* корпус сдвинуть вправо.

Если при поворотах вал из положения *I* последовательно переходит в положение *IV*, *V* и *VI*, т. е. точки *а* и *б* перемещаются вокруг оси подшипника, то это означает, что вал прогнут или неправильно произведена центровка муфт.



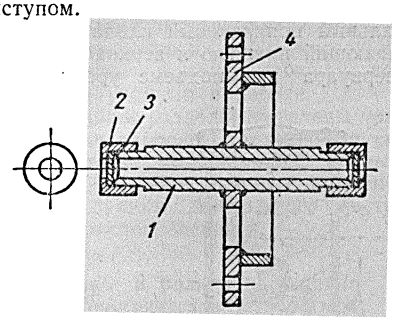
Фиг. 13. Проверка установки корпусов при помощи наружных колес подшипников, контрольной линейки, уровня и щупа: *I* — проверка по высоте; *II* — проверка в горизонтальной плоскости; *1* — контрольная линейка; *2* — уровень; *3* — специальная калиброванная пластинка.



Фиг. 14. Установка и выверка корпусов по расположению посадочного радиального зазора в подшипниках.

Установка корпусов по специальным окулярам. С большой точностью установку корпусов для подшипников, расположенных на больших расстояниях один от другого, можно производить по окулярам с перекрестными рисками, нанесенными на пластинке органического стекла (фиг. 15).

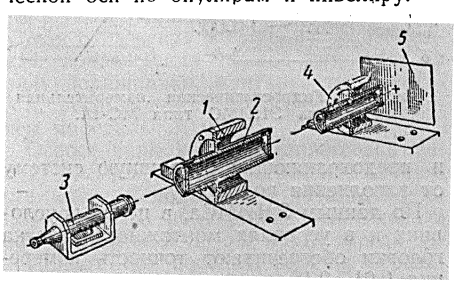
Окуляр состоит из трубки *1*, съемных колпачков *2*, пластинок из органического стекла *3* с точно нанесенными перекрестными рисками и дисками *4* с центрирующим по корпусу подшипника выступом.



Фиг. 15. Окуляр с перекрещивающимися рисками для установки корпусов подшипников.

Для наиболее точной установки трубку окуляра следует подбирать возможно большей длины.

На фиг. 16 показана схема установки корпусов на одной общей геометрической оси по окулярам и нивелиру.



Фиг. 16. Общая схема установки корпусов при помощи нивелира и окуляров: *1* — корпус подшипника; *2* — окуляр; *3* — нивелир; *4* — корпус второго подшипника; *5* — экран.

Корпуса подшипников устанавливают следующим образом.

Перед корпусом *1* с помещенным в нем окуляром *2* устанавливают нивелир *3*, а за корпусом *4* также с окуляром — неподвижный экран *5*, на который накладывают лист белой бумаги или металлическую пластинку с нанесенными на ней двумя тонкими взаимно-перпендикулярными линиями.

Оптическая ось зрительной трубы нивелира должна быть направлена на освещенный экран в соответствии с предполагаемым положением оси вала, так чтобы перекрестие зрительной трубы совпадало с точкой пересечения линий, нанесенных на экране. Практически это достигается перемещением перекрестия на экране до совпадения с перекрестием нивелира или, наоборот, установкой нивелира по точке пересечения взаимно-перпендикулярных линий на неподвижном экране.

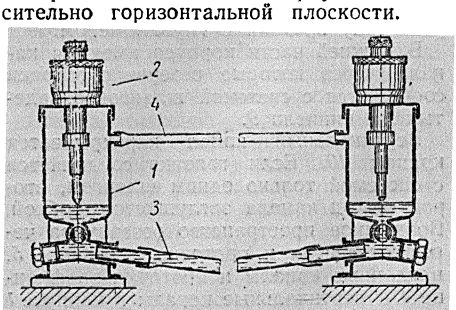
После настройки зрительной трубы нивелира на резкость, устанавливаемый корпус подшипника перемещают вместе с окуляром таким образом, чтобы оба перекрестия нитей окуляра корпуса совпадали с перекрестием нивелира. По окончании установки положение корпуса фиксируется болтами.

Закончив выверку одного корпуса, не нарушая установки нивелира, а только изменяя его наводку на резкость, выверяют в том же порядке второй корпус, затем третий и т. д.

Гидростатические методы установки корпусов основаны на том, что открытые поверхности однородной жидкости, находящейся в равновесии в сообщающихся сосудах, располагаются в одной горизонтальной плоскости.

Для выверки положения длинных станин или крупногабаритных корпусов, устанавливаемых на значительном расстоянии один от другого, применяются чашки, стеклянные трубки или гидростатические головки, соединенные между собой гибкими шлангами, образующими систему сообщающихся сосудов.

По разности высот уровня воды в сосудах судят о правильности установки выверяемых плоскостей корпусов относительно горизонтальной плоскости.



Фиг. 17. Принципиальная схема закрытой системы с гидростатическими измерительными головками.

На фиг. 17 показана принципиальная схема головки закрытой системы. Головка представляет собой небольшие

закрытые резервуары *1* со вставленными микрометрическими глубиномерами *2*. Резервуары соединены между собой шлангами *3* для воды и *4* для воздуха; при наполнении шланга *3* и части объема резервуаров водой образуется система сообщающихся сосудов. Соединенные шлангом *4* полости резервуаров образуют общую воздушную систему, в которой устанавливается одинаковое давление воздуха. Воздушная система может быть закрытой, изолированной от внешней среды или открытой, сообщающейся с внешней средой через общий для всей системы выход.

Измерительный наконечник микрометрического глубиномера представляет собой конус с углом 60° при вершине с хромированной и полированной поверхностью (12—13-й класс частоты).

Визуальное определение момента контакта конуса с водой не вызывает затруднений и осуществляется с погрешностью, не превышающей 0,002 *мм*.

На фиг. 18 представлена конструкция гидростатической измерительной головки ЭНИМС типа МС-1А.

Головка состоит из бронзового литого корпуса *1* с окнами. В корпусе помещен толстостенный стеклянный цилиндр *2*, являющийся резервуаром головки. Цилиндр, расположенный между резиновыми кольцами *3*, обеспечивающими герметичность резервуара, закреплен фланцем *4*, ввернутым в корпус до отказа.

Фланец закрыт крышкой *5* со встроенным в нее микрометрическим глубиномером *6*. Крышка закреплена на фланце *4* накидной гайкой *7*, что обеспечивает герметичность резервуара и точную установку крышки с глубиномером.

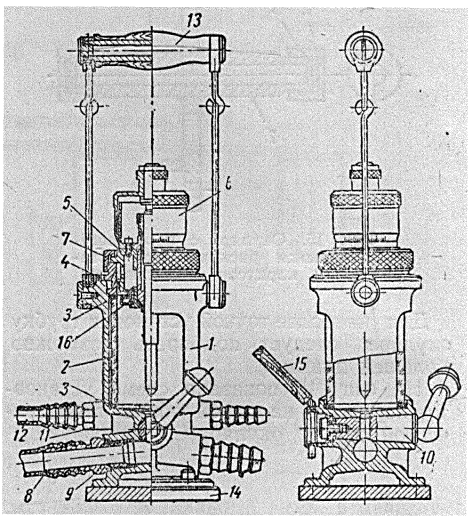
В нижней части корпуса имеются каналы, через которые резервуар головки сообщается с системой шлангов *8*, надетых на ниппели *9*.

Вертикальный канал перекрывается краном *10*. Если головка соединяется с системой только одним шлангом, второй выход канала заглушается пробкой. Воздушное пространство резервуара через отверстия и проточки в крышке *5*, наклонные каналы и проточки во фланце *4* и вертикальные каналы в корпусе *1* сообщается с отверстиями в нижней части корпуса, в которые ввернуты ниппели *11* для воздушных шлангов *12*.

Для переноса головки имеется ручка *13*. Основанием головки служит стальная, цементованная и закаленная плита *14*, размером 100 × 100 *мм*.

Для наблюдения сверху за контактом измерительного наконечника глубиномера с поверхностью воды (при измерении низко расположенных плоскостей) служит зеркало *15*.

На стебле глубиномера находится специальный поплавковый клапан *16*, разобщающий нижнюю и верхнюю полости резервуара при подъеме уровня воды



Фиг. 18. Гидростатическая измерительная головка ЭНИМС типа МС-1А.

и предохраняющий воздушную систему от заполнения водой.

По данным ЭНИМСа, в цеховых условиях и в условиях монтажного участка головки обеспечивают точность измерения 0,01—0,15 *мм*, которая не зависит от измеряемого расстояния в пределах практически встречающихся длин (головки испытывались со шлангом длиной до 200 *м*).

Наиболее просто и точно установку корпусов можно осуществить с помощью гидростатической системы, состоящей из двух измерительных головок. Первая головка устанавливается на одну из проверяемых поверхностей неподвижно, а вторая переставляется по другим проверяемым поверхностям. При каждой установке измеряют уровень воды в обеих головках одновременно и по разности уровней в сосудах определяют положение плоскости, проверяемой подвижной головкой, относительно горизонтальной плоскости, на которую установлена неподвижная головка.

МОНТАЖ ПОДШИПНИКОВ

Каждый тип машины и фактически каждая машина в отдельности имеют специфические особенности, которые должны быть учтены при проектировании подшипниковых узлов и их монтаже.

Монтажно-демонтажный инструмент должен быть простым, прочным, компактным и удобным в работе.

В настоящем разделе приведены только основные наиболее характерные способы монтажа подшипников, а также отдельные наиболее широко применяемые конструкции монтажного инструмента и приспособлений.

Шарико- и роликоподшипники с цилиндрическим отверстием

Посадка подшипников с цилиндрическим отверстием на вал и в корпус в большинстве случаев осуществляется посредством монтажной трубы и ручного или гидравлического пресса; монтажной трубы и молотка; выколотки; специальных приспособлений для данного узла.

При монтаже подшипника нельзя ударять молотком непосредственно по его кольцам или телам качения.

Для облегчения монтажа и во избежание повреждения посадочных мест на валу подшипники, монтируемые с натягом, рекомендуется подогревать в горячем минеральном масле.

Особое внимание при запрессовке следует обращать на обеспечение соосности вала и подшипника. Незначительные перекосы подшипника относительно оси посадочной шейки почти всегда затрудняют его посадку, ведут к образованию задиров, а иногда и к разрывам внутренних колец подшипников.

Независимо от характера посадки, посадочные поверхности должны быть чисто протерты сухими тряпками и смазаны.

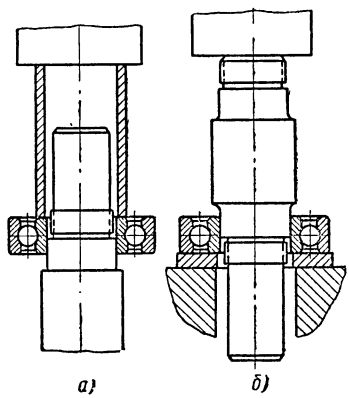
Во всех случаях монтажа усилие напрессовки следует прикладывать только к кольцу подшипника, монтируемому с натягом, не допуская передачи усилий через шарики или ролики.

Если не выполнять этих требований, то при посадках подшипников с натягом усилие напрессовки может оказаться настолько значительным, что на дорожках качения образуются углубления от шариков и роликов.

Подшипник должен устанавливаться клейменой стороной наружу.

Монтаж подшипника посредством монтажной трубы и пресса. Пресс является весьма совершенным приспособлением для монтажа подшипников качения, так как при пользовании им подшипник не подвергается ударам и нет опасности повреждения сопряженных с подшипником уплотнений и маслоотражательных шайб. Однако возможность применения прессов весьма ограничена.

Применение пресса наиболее рационально при значительном количестве



Фиг. 19. Запрессовка при помощи пресса: *а* — подшипника на вал; *б* — вала в подшипник.

монтируемых однотипных подшипниковых узлов.

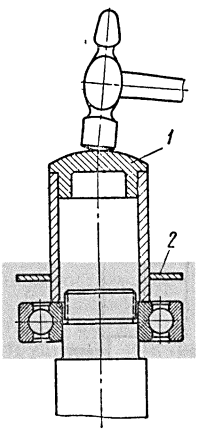
При монтаже подшипников с помощью монтажной трубы и пресса на валы небольших габаритных размеров, вал устанавливают неподвижно на столе пресса и на него напрессовывают подшипник (фиг. 19, *а*) или, наоборот, подшипник устанавливают неподвижно и в него впрессовывают вал (фиг. 19, *б*).

Для запрессовки вала в подшипник нужно, чтобы внутреннее кольцо подшипника упиралось в две плоские подкладки или в подкладное кольцо с отверстием несколько бо́льшим, чем отверстие подшипника.

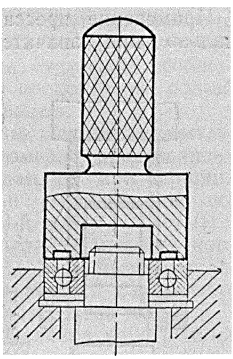
Монтаж подшипника с использованием монтажной трубы и молотка. В условиях ремонтных мастерских и индивидуального производства, когда количество монтируемых однотипных подшипников невелико, а номенклатура их значительна, а также при серийном производстве, когда пользоваться прессом нерентабельно, наиболее рационально монтиро-

вать подшипники при помощи монтажной трубы и молотка.

Монтажная труба, показанная на фиг. 20, с одной стороны имеет заглушку *1*, наружная поверхность которой может быть плоской или сферической (фиг. 20). Сферическая форма заглушки



Фиг. 20. Монтажная труба: *1*—сферическая заглушка; *2* — приваренное защитное кольцо.



Фиг. 21. Оправка для одновременного монтажа подшипника с натягом на вал и в корпус

обеспечивает более правильное приложение усилия.

Для защиты подшипника во время монтажа от засорения частицами металла и грязью применяют трубы с приваренным защитным кольцом *2*.

Диаметр отверстия трубы должен быть больше диаметра отверстия подшипника примерно на 1—5 *мм* в зависимости от габаритных размеров подшипника.

При монтаже подшипников валы небольших габаритных размеров зажимают в тисках, губки которых во избежание повреждения вала покрывают накладками из мягкого металла (медь, латунь); валы средних или больших габаритных размеров укладывают на деревянные подставки.

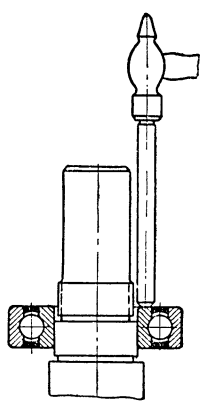
Для монтажа подшипника в корпус применяют монтажные трубы подобных конструкций с диаметром наружной поверхности несколько меньшим, чем диаметр наружной поверхности монтируемого подшипника.

При необходимости посадки подшипника с натягом одновременно на вал и в корпус применяют специальные оправки, опирающиеся одновременно на торцы обоих колец подшипника (фиг. 21).

Монтаж подшипника с использованием выколотки. Наиболее простым, хотя и весьма несовершенным, монтажным инструментом является выколотка. Ее следует использовать только в случае невозможности применения более совершенного монтажного инструмента и лишь для подшипников небольших размеров, монтируемых с небольшим натягом.

Выколотки необходимо изготовлять из мягкого металла (медь, мягкая сталь), круглого или прямоугольного, постоянного или переменного сечения, в зависимости от условий монтажа.

Во избежание повреждения подшипников монтировать их посредством выколотки следует весьма осторожно. Выколотку прижимают к торцу внутреннего кольца и равномерными ударами молотка по выколотке насаживают подшипник на вал (фиг. 22). Удары, передаваемые через выколотку, нужно наносить поочередно по всей окружности торца внутреннего кольца; во избежание перекосов, каждый следующий удар следует наносить в диаметрально противоположной зоне торца внутреннего кольца.



Фиг. 22. Посадка подшипника на вал посредством выколотки и молотка.

Наиболее успешно выколотка может быть применена для того, чтобы довести до заплечика подшипник, монтируемый с предварительным подогревом.

Подогрев и охлаждение подшипников при монтаже. Для облегчения посадки подшипники с цилиндрическим отверстием рекомендуется предварительно нагревать до температуры 80—100°.

Наиболее рациональным является нагрев подшипника в горячем минеральном масле или при помощи электроиндукционных установок.

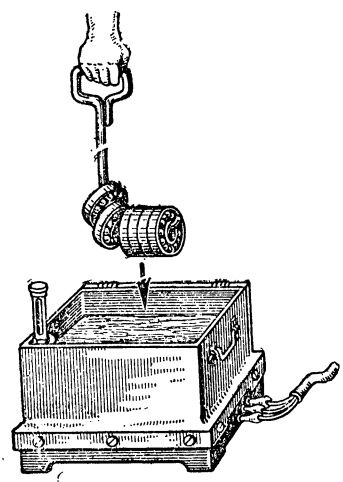
В качестве установки для нагревания подшипников в горячем масле могут быть применены ванны с паро- или электроподогревом (фиг. 23).

Нагретый в масле подшипник надевают на шейку вала и плотно прижимают к заплечику.

Необходимо следить, чтобы масло в ванне было всегда чистым, так как после монтажа промывать подшипники трудно и нецелесообразно. При массовом монтаже целесообразно нагревать подшипники партиями в металлической кассете.

Крупногабаритные подшипники удобно извлекать из ванны специальным приспособлением — захватом с пружиной, подвешенной к крану подъемного устройства (фиг. 24). Приспособление позволяет легко центрировать отверстие подшипника относительно шейки вала.

На фиг. 25 показана установка для индукционного нагрева внутренних колец цилиндрических роликоподшипников при их монтаже и демонтаже. Принцип действия индукционного нагревателя основан на нагревании кольца при прохождении индуктированного электрического тока, возбуждаемого катушкой. Размеры

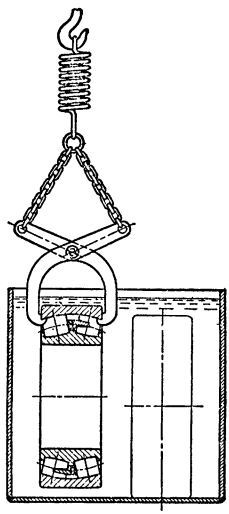


Фиг. 23. Ванна с электроподогревом для нагревания подшипников.

нагревателя и его конструктивные формы зависят от габаритных размеров и конструкции подшипникового узла.

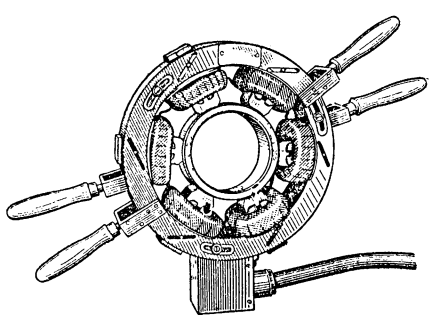
Для посадки в корпус подшипника небольших габаритных размеров со значительным натягом рекомендуется подогрев корпуса в масляной ванне. Большие корпусы целесообразно нагревать в муфельных печах до температуры 90—100° или просто в кипящей воде. В последнем случае корпус тотчас же после нагревания должен быть протерт чистой тряпкой, смоченной в масле.

В случае невозможности нагрева корпуса для получения необходимой разности температур прибегают к охлаждению



Фиг. 24. Приспособление для переноски крупногабаритных подшипников.

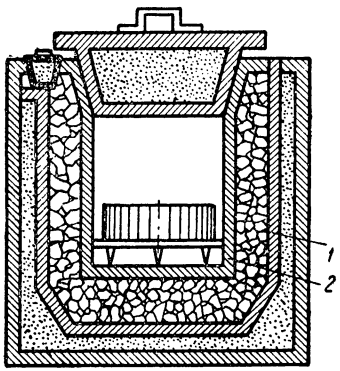
монтируемых колец подшипников до температуры минус 75—77° в термостатах



Фиг. 25. Индукционная установка для монтажа и демонтажа внутреннего кольца роликоподшипника.

(фиг. 26) с сухим льдом, закладываемым в пространство между стенками наружной камеры *1* и внутренней камеры *2* термостата. Кольца подшипников, подлежащие охлаждению, помещают в термостат примерно на 10—12 мин.

При больших натягах для облегчения посадки подшипников можно использовать одновременно два способа — нагревание и охлаждение. При этом одна из



Фиг. 26. Термостат для охлаждения подшипников.

сопрягаемых деталей (охватывающая) нагревается, другая (охватываемая) — охлаждается.

Регулировка осевой игры радиально-упорных и упорных шарико- и роликоподшипников

Величина осевой игры. Радиально-упорные и упорные шарико- и роликоподшипники регулируемых типов должны монтироваться в узлах с осевой игрой, обеспечивающей их свободное вращение и предотвращающей защемление тел качения при работе подшипников под влиянием теплового расширения вала.

Исключением являются узлы точного вращения, в которых применяются подшипники, монтируемые с предварительным натягом.

Необходимая осевая игра в подшипниках регулируемого типа зависит главным образом от их конструкции и размеров, от режима работы, рабочей температуры и конструкции подшипникового узла, от требуемой жесткости опор и точности вращения, а также от точности обработки посадочных мест и сопряженных с подшипником деталей. В связи с этим величину осевой игры подшипников устанавливают особо для каждого конкретного узла.

В табл. 2—4 приведены значения осевой игры для стандартных радиально-упорных шариковых и конических роликовых, а также шариковых упорных подшипников класса точности Н по ГОСТ 520-55, работающих в нормальных условиях, при которых:

а) температура внутренних колец радиально-упорных шариковых или конических роликовых подшипников превышает температуру наружных колец не более чем на 10°, а разность температур вала и корпуса составляет не более 20°;

б) тела качения двойных упорных шарикоподшипников при

$$n_p > \frac{37500}{\sqrt{D_0 d_ш}} \text{ об/мин}$$

постоянно нагружены осевой силой

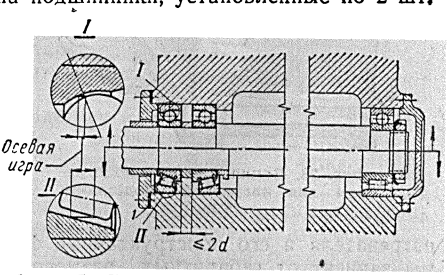
$$A > 5{,}75 \cdot 10^{-12} d_ш^3 D_0 z n_p^2 \text{ кГ},$$

где $d_ш$ — диаметр шарика в подшипнике в *мм*; D_0 — диаметр окружности расположения центров шариков в подшипнике в *мм*; z — число шариков в подшипнике; n_p — рабочее число оборотов вала или вращающегося кольца подшипника в минуту.

При несоблюдении этих условий и невыполнении требований, изложенных ниже, расчетная долговечность подшипников не гарантируется.

Осевая игра в однорядных радиально-упорных и двойных упорных шарикоподшипниках, а также в однорядных конических роликоподшипниках обеспечивается при монтаже путем осевого смещения одного кольца подшипника относительно другого.

В табл. 2—4 допускаемые величины осевой игры ряда I распространяются на подшипники, установленные по 2 шт.



Фиг. 27. Узел с двумя радиально-упорными подшипниками в одной опоре: *1* — регулировочные прокладки.

в одной из опор (фиг. 27 и 28), а ряда II — на подшипники, установленные по одному в каждой опоре (фиг. 29).

При разности температур нагрева вала и корпуса свыше 20° радиально-упорные шариковые и конические роли-

2. Допускаемые пределы осевой игры для радиально-упорных шарикоподшипников (по ГОСТ 831-54 в *мк*)

Внутренний диаметр подшипника *d* в *мм*		Подшипники с углом контакта						Расчетное расстояние между подшипниками при установке по схеме фиг. 29
		12°				26 и 36°		
		Ряд I		Ряд II		Ряд I		
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	
10	30	20	40	30	50	10	20	8*d*
30	50	30	50	40	70	15	30	6*d*
50	80	40	70	50	100	20	40	4*d*
80	120	50	100	60	150	30	50	3*d*
120	180	80	150	100	200	40	70	3*d*
180	260	120	200	150	250	50	100	3*d*

3. Допускаемые пределы осевой игры для конических роликоподшипников

Внутренний диаметр подшипника *d* в *мм*		Подшипники по ГОСТ 333-59 с углом контакта 10—16°				Подшипники по ГОСТ 7260-54 с углом контакта 25—29°		Расчетное расстояние между подшипниками при установке по схеме фиг. 29
		Ряд I		Ряд II		Ряд I		
свыше	до	наим.	наиб.	наим.	наиб.	наим.	наиб.	
10	30	20	40	40	70	—	—	12*d*
30	50	40	70	50	100	20	40	8*d*
50	80	50	100	80	150	30	50	7*d*
80	120	80	150	120	200	40	70	6*d*
120	180	120	200	200	300	50	100	6*d*
180	260	160	250	250	350	80	150	4*d*

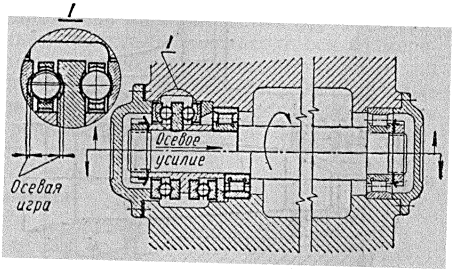
4. Допускаемые пределы осевой игры для двойных и сдвоенных упорных шарикоподшипников

Внутренний диаметр подшипника *d* в *мм*		Подшипники серий 8100, 8200, 8300, 8400 по ГОСТ 6874-51 и ГОСТ 7872-56	
		Ряд I	
свыше	до	наим.	наиб.
10	50	20	40
50	120	30	50
120	400	40	60

ковые подшипники рекомендуется устанавливать по схеме фиг. 27.

Наименьшая осевая игра рядов I и II устанавливается при окончательной сборке опоры, т. е. с учетом фактических отклонений от правильной геометрической формы деталей подшипника, вала и корпуса и должна гарантировать легкость вращения подшипников.

Ряд II осевой игры радиально-упорных шарикоподшипников с углом контакта 26 и 36°, конических роликоподшипников с углом контакта 25—29° и



Фиг. 28. Узел с двумя подшипниками в одной опоре, имеющий регулировочные прокладки.

упорных шарикоподшипников не приводится ввиду крайне редкого их монтажа по нерекомендуемой схеме, изображенной на фиг. 29.

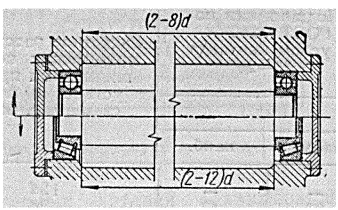
Для радиально-упорных шарикоподшипников и конических роликоподшипников, применяемых в кривошипно-

шатунных механизмах, с возвратно-поступательным движением и для подшипников, работающих в условиях, отличных от предусмотренных в настоящем разделе, величины осевой игры устанавливаются экспериментально.

Осевая игра нестандартных радиально-упорных и упорных подшипников назначается в соответствии с приведенными выше рекомендациями в зависимости от угла контакта и размеров подшипников.

Регулировка осевой игры радиально-упорных шарико- и роликоподшипников регулируемых типов производится:

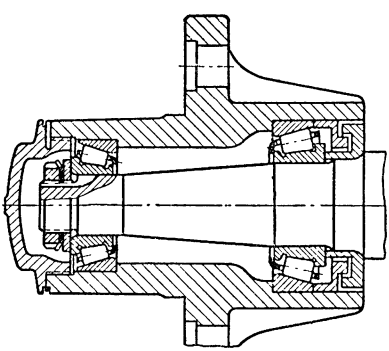
а) смещением наружного кольца подшипника (фиг. 29);



Фиг. 29. Узел с радиально-упорными подшипниками, установленными по одному в каждой опоре: *1* — регулировочные прокладки.

б) смещением внутреннего кольца подшипника (фиг. 30).

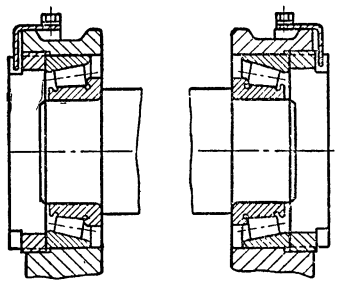
В зависимости от схемы установки подшипников и конструкции подшипниковых узлов регулировка осуществляется посредством:



Фиг. 30. Регулировка осевой игры подшипников гайкой с внутренней резьбой.

а) металлических прокладок (фиг. 27, 28);

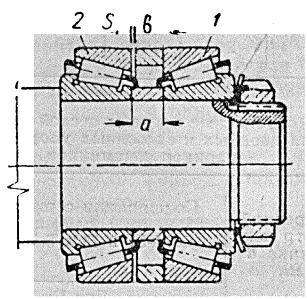
б) гаек с внутренней или наружной резьбой (фиг. 30, 31);



Фиг. 31. Регулировка осевой игры подшипников гайкой с наружной резьбой.

в) распорных колец (фиг. 32).

Регулировку осевой игры прокладками производят следующим образом. Одну крышку (фиг. 29) с полным комплектом прокладок надевают на шпильки корпуса и до отказа завертывают гайками вторую, крышку устанавливают на место без прокладок



Фиг. 32. Регулировка подшипников при помощи распорных колец.

и равномерно завертывают к торцу корпуса гайками. При завертывании гаек вал вращают от руки для правильной установки роликов относительно дорожек качения и упорных бортов колец подшипника.

При достижении заметного торможения вала затяжку болтов прекращают и измеряют щупом зазор между корпусом и второй крышкой в трех-четырех местах. За действительную величину зазора K принимают среднее арифметическое от суммы четырех измерений.

После измерения зазора крышку вместе с комплектом прокладок снова уста-

навливают на место и зажимают до отказа всеми гайками. При этом толщина комплекта регулировочных прокладок

$$a = K + S,$$

где S — необходимая величина осевой игры подшипников, устанавливаемая обычно (из табл. 2 и 3) при разработке конструкции подшипникового узла.

Регулировка осевой игры радиально-упорных подшипников с помощью прокладок по внутреннему кольцу принципиально ничем не отличается от регулировки осевой игры радиально-упорных подшипников с помощью прокладок по наружному кольцу. Аналогично регулируют прокладками осевую игру двойных упорных подшипников.

Регулировочные прокладки должны быть гладкими и чистыми, не должны иметь заусенцев по наружным краям и по краям отверстий. Изготовлять их желательно из жести или латуни.

Для удобства регулировки рекомендуется применять штампованные прокладки толщиной 0,15; 0,20; 0,30 и 0,50 *мм*. В одном комплекте должно быть 5—7 прокладок: 2—3 прокладки толщиной 0,15 *мм*; 2—3 прокладки толщиной 0,20 *мм* или 0,30 *мм* и одна прокладка толщиной 0,50 *мм*.

Отверстия в прокладках должны быть больше диаметра шпильки или винта минимум на 2 *мм*, а центры их должны совпадать достаточно точно.

Прокладки из картона или бумаги применять не рекомендуется.

Регулировка осевой игры гайками с наружной или внутренней резьбой. При этом способе регулируемое кольцо подшипника (наружное или внутреннее) зажимают гайкой с одновременным проворачиванием вала до возникновения заметного торможения (фиг. 30 и 31). Затем гайку отвертывают на угол φ, после чего закрепляют.

$$\varphi = 360° \frac{S}{t},$$

где S — необходимая величина осевой игры в *мм*; t — шаг резьбы в *мм*.

Степень точности и пределы осевой игры целиком зависят от шага резьбы и особенно от способа закрепления гайки.

Регулировка осевой игры парного комплекта однорядных конических роликоподшипников в одной опоре дистанционными кольцами. При этом способе регулировка осевой игры (фиг. 32) осуществляется за счет разности высот дистанционных колец a и b, устанавливаемых между наружными и внутренними кольцами подшипников.

Высота b наружного дистанционного кольца выбирается конструктором из соображений жесткости узла.

При заданной величине начальной осевой игры S двух однорядных роликовых конических подшипников, установленных на общей шейке вала, высота a внутреннего дистанционного кольца определяется следующим образом.

Подшипник *1* с наружным дистанционным кольцом и наружным кольцом подшипника *2* устанавливают на контрольной плите (фиг. 33). При помощи контрольной линейки и набора мерительных плиток или микрометрического глубиномера измеряют размер m и посредством микрометра — общую высоту C наружных колец подшипников с дистанционным кольцом.

Затем на контрольную плиту устанавливают подшипник *2* с наружным дистанционным кольцом и наружным кольцом подшипника *1* (фиг. 33, *б*) и тем же способом измеряют размер n.

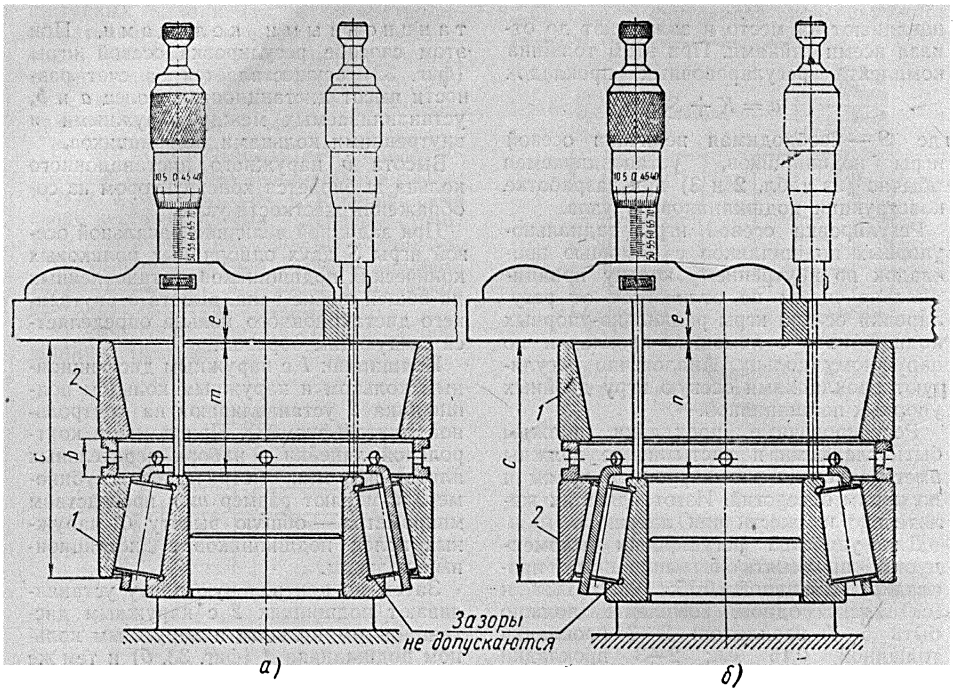
При пользовании микрометрическим глубиномером из результата измерения нужно вычесть высоту контрольной линейки e. Для обеспечения контакта роликов с рабочим бортом внутреннего кольца подшипника ролики с сепаратором и наружным кольцом в каждом положении проворачивают перед измерением несколько раз вокруг оси. Измерения производят в четырех точках по окружности через 90°. За действительные размеры m, n и c следует принимать средние арифметические значения четырех измерений.

Высота внутреннего дистанционного кольца

$$a = m + n + S - c.$$

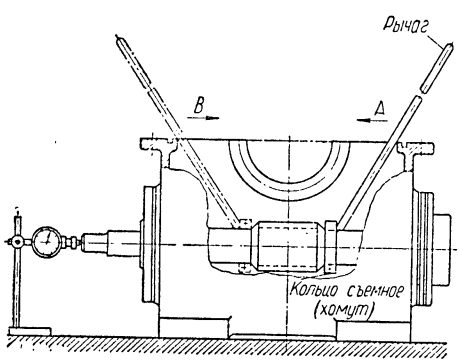
По найденному размеру a подбирают и устанавливают на место внутреннее дистанционное кольцо.

Проверка осевой игры регулируемых подшипников индикатором. Для проверки осевой игры при неразъемных корпусах к торцу выходного конца вала, а при разъемных корпусах к торцу любой детали (например, зубчатого колеса, сидящего на регулируемом валу) приставляется измерительный штифт индикатора, укрепленного на жесткой стойке.



Фиг. 33. Измерения для определения ширины дистанционного кольца между внутренними кольцами подшипника: *а* — первое положение; *б* — второе положение.

С помощью рычагов поочередно отжимают вал в направлении стрелок *А* и *В* (фиг. 34) до надежного контакта тел



Фиг. 34. Проверка индикатором осевой игры подшипников при разъемном корпусе.

качения с соответствующим наружным кольцом. Разность показаний индикатора дает величину осевой игры вала. В случаях, когда осевая игра выше или ниже требуемой, снимается или добавляется прокладка соответствующей толщины.

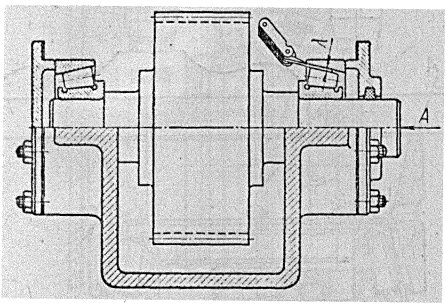
Во избежание искажения результатов измерения из-за деформации стенок корпуса не следует прикладывать к рычагу больших усилий.

Аналогично проверяют осевую игру двойных (фиг. 28) и сдвоенных одинарных упорных подшипников, а также и радиально-упорных подшипников, установленных попарно (фиг. 27).

Проверку осевой игры радиально-упорных роликоподшипников в разъемном корпусе можно также, но с меньшей точностью, производить **щупом,** как изображено на фиг. 35.

Для этого вал отжимают вдоль оси до упора в одну сторону. Щупом измеряют зазор λ по линии давления между образующими верхнего ролика и дорожки качения наружного кольца (фиг. 36). При замерах нельзя накатывать ролики подшипника на щуп. Замеры щупом производят дважды; при повторном замере зазора вал следует повернуть на 180°.

Для стандартных конических роликоподшипников серии 7200 и 7500 с углом конусности дорожки качения наружного кольца от 12 до 16° величина осевой игры с достаточной для практики точностью может быть принята равной удвоенному зазору по линии давления, т. е. $S=2\lambda$.



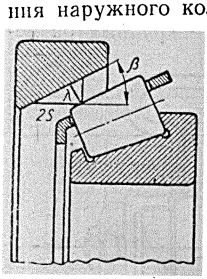
Фиг. 35. Проверка зазора.

Для подшипников серии 7300 осевая игра $S = 2{,}4\ \lambda$, а для серии 7600 $S = 2{,}25\ \lambda$.

Для нестандартных подшипников осевая игра определяется из выражения:

$$S=\frac{\lambda}{2\sin\beta},$$

где β — угол наклона дорожки качения наружного кольца.



Фиг. 36. Зазоры в коническом роликоподшипнике.

Контроль осевой игры радиальноупорных подшипников на валах редукторов должен производиться при выведенных из зацепления зубчатых колесах, т. е. для каждого вала отдельно.

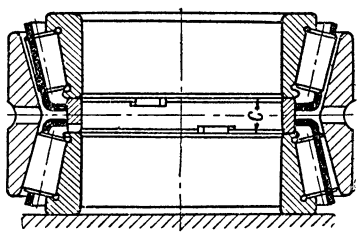
Проверка осевой игры по легкости вращения. При закрытых конструкциях опор, где невозможно проверить осевую игру подшипников описанными выше способами, ограничиваются проверкой на легкость вращения. При этом раскрученный вал должен вращаться без заметного торможения.

Этот способ может быть применен, если в подшипниковом узле нет уплотнений трущегося типа.

По окончании регулировки подшипников любым из способов все болты и гайки должны быть законтрены.

Проверка осевой игры S двухрядных конических роликоподшипников (фиг. 37). При контроле осевой игры наружное кольцо подшипника в сборе с одним из внутренних колец устанавливают на контрольной плите в первое положение (фиг. 38, *а*) и несколько раз проворачивают вокруг оси.

С помощью контрольной линейки и мерительных плиток или микрометрического глубиномера замеряют размер m в четырех местах по окружности. За окончательный размер m принимают среднее арифметическое четырех измерений.



Фиг. 37. Двухрядный конический роликоподшипник.

Затем наружное кольцо с другим внутренним кольцом устанавливают во второе положение (фиг. 38, *б*) и описанным способом замеряют размер n. При использовании микрометрического глубиномера из показаний глубиномера вычитают высоту e контрольной линейки. Высоту b наружного кольца подшипника измеряют микрометром.

Величина фактической осевой игры

$$S=c-\delta_1;\qquad \delta_1=m+n-b,$$

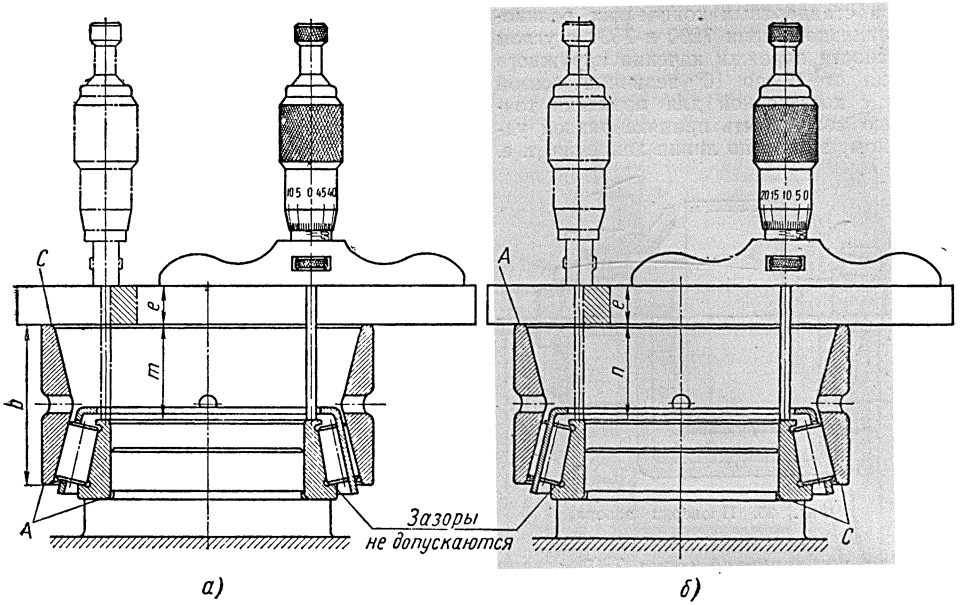
где c — высота дистанционного кольца (фиг. 37); δ_1 — зазор между торцами внутренних колец подшипника.

Величина удлинения вала при его нагревании, без учета влияния расширения корпуса, определяется по формуле

$$\Delta l=1{,}17\cdot 10^{-5}(t_2-t_1)l\ мм,$$

где t_2 — рабочая температура вала в град., t_1 — температура окружающей среды в град., l — длина вала в *мм*.

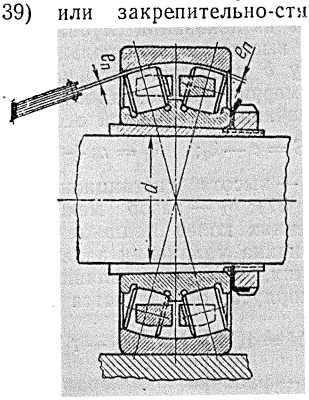
Допускаемая начальная осевая игра конических двухрядных роликоподшипников (ГОСТ 6364-52) приведена в табл. 33, гл. IV.



Фиг. 38. Измерения для определения ширины дистанционного кольца подшипника: *а* — первое положение; *б* — второе положение.

Шарико- и роликоподшипники с коническим отверстием

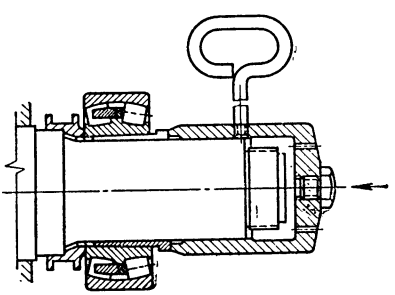
Двухрядные сферические шарико- и роликоподшипники с коническим отверстием устанавливают на цилиндрическую шейку вала с помощью закрепительной (фиг. 39) или закрепительно-стяжной



Фиг. 39. Монтаж подшипника с закрепительной втулкой.

(буксовой) (фиг. 40) втулок. На коническую шейку вала (фиг. 41) эти подшипники устанавливаются непосредственно.

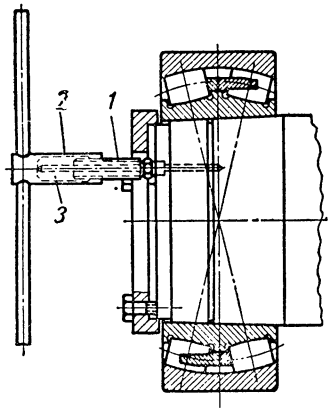
Напрессовка подшипников с отверстием до 70 *мм* и нормальными натягами может быть осуществлена гайкой, навинчиваемой с помощью ключа на втулку или вал. Подшипники более крупных разме-



Фиг. 40. Монтаж подшипника с буксовой втулкой посредством монтажного стакана.

ров напрессовывают посредством прессов или гидравлических приспособлений. Хорошие результаты достигаются при напрессовке на вал подшипников, нагретых перед их установкой.

Внутреннее кольцо подшипника при напрессовке на шейку вала несколько раздается; при этом диаметр дорожки качения кольца увеличивается, в результате чего уменьшается радиальный зазор в подшипнике.



Фиг. 41. Монтаж подшипника на коническую шейку с нагнетанием масла между сопряженными поверхностями.

Уменьшение радиального зазора Δe (фиг. 39) и соответствующая этому уменьшению величина осевого перемещения Δl втулки или подшипника, при которых гарантируется надежное соединение сферических двухрядных роликоподшипников с валом и обеспечивается необходимый радиальный зазор, приведены в табл. 5.

Среднее уменьшение начального радиального зазора для этого типа подшипников ориентировочно составляет 0,05 *мм* на каждые 100 *мм* диаметра отверстия подшипника.

При тяжелых режимах работы узла и высокой температуре вала посадка внутреннего кольца подшипника должна осуществляться с бо́льшим натягом, чем натяг, предусмотренный табл. 5. В таких случаях применяются подшипники с увеличенным начальным радиальным зазором в соответствии с дополнительными рядами отраслевой нормали ОН7-58.

Перед напрессовкой необходимо замерить начальный радиальный зазор $e_н$ в подшипнике (см. фиг. 2). После запрессовки замеряется посадочный радиальный зазор $e_п$, (фиг. 39), который должен быть не меньше минимального радиального зазора $e_п$, приведенного в табл. 5.

На фиг. 41 показан монтаж роликоподшипника с коническим отверстием на коническую шейку при помощи масла

5. Допускаемое уменьшение начального радиального зазора Δe двухрядного сферического подшипника

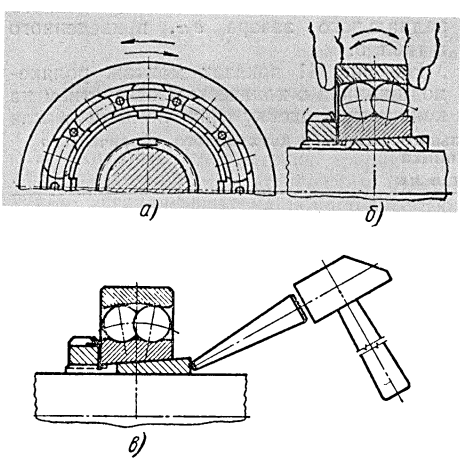
Размеры в *мм*

Внутренний диаметр подшипника d		Начальный радиальный зазор[1] $e_н$		Уменьшение начального радиального зазора Δe		Посадочный радиальный зазор после затягивания закрепительной втулки $e_п$		Осевое перемещение подшипника или втулки Δl	
Свыше	До	min	max	min	max	min	max	min	max
80	100	0,07	0,1	0,04	0,055	0,03	0,045	0,70	0,85
100	120	0,08	0,11	0,05	0,06	0,03	0,05	0,75	0,90
120	140	0,09	0,12	0,06	0,07	0,03	0,05	0,90	1,10
140	160	0,10	0,14	0,06	0,08	0,04	0,06	1,00	1,30
160	180	0,11	0,15	0,07	0,09	0,04	0,06	1,10	1,40
180	200	0,12	0,17	0,08	0,10	0,04	0,07	1,30	1,60
200	225	0,14	0,19	0,09	0,11	0,05	0,08	1,40	1,70
225	250	0,15	0,21	0,10	0,12	0,05	0,09	1,60	1,90
250	280	0,17	0,23	0,11	0,14	0,06	0,09	1,70	2,20
280	315	0,18	0,25	0,12	0,15	0,06	0,10	1,90	2,40
315	355	0,21	0,28	0,14	0,17	0,07	0,11	2,20	2,70
355	400	0,23	0,31	0,15	0,19	0,08	0,12	2,40	3,00
400	450	0,26	0,35	0,17	0,21	0,09	0,14	2,70	3,30
450	500	0,29	0,39	0,19	0,24	0,10	0,15	3,00	3,70
500	580	0,32	0,43	0,22	0,27	0,10	0,16	3,50	4,20
560	630	0,35	0,48	0,24	0,30	0,11	0,18	3,80	4,60
630	710	0,40	0,54	0,27	0,34	0,13	0,20	4,30	5,20
710	800	0,45	0,61	0,30	0,38	0,15	0,23	4,80	5,90
800	900	0,50	0,61	0,34	0,43	0,16	0,24	5,40	6,60

[1] Основной ряд по нормали ОН7-58.

под давлением. Для этого на конической шейке вала выполняют кольцевую канавку, соединенную с каналом, подводящим масло. При помощи масляного инжектора в канал под высоким давлением нагнетают масло, которое, проникая между сопряженными поверхностями, настолько уменьшает трение, что монтаж и демонтаж соединения происходят без затруднений. Для подшипников небольших и средних размеров применяется масляный инжектор, состоящий из цилиндра *1* и поршня *2*, перемещаемого гильзой *3*, навинчиваемой на цилиндр. Для напрессовки средних и крупных подшипников применяется обычный поршневой насос, привод которого осуществляется при помощи ручного рычага.

О надежности посадки двухрядных сферических шарикоподшипников на затяжных втулках судят по свободному смещению наружного кольца подшипника по шарикам вокруг и вдоль оси вала (фиг. 42, *а* и *б*), а также по устойчивому положению втулки подшипника

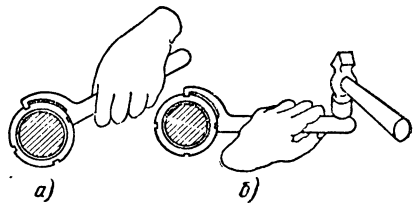


Фиг. 42. Проверка закрепления на валу двухрядного сферического шарикоподшипника на закрепительной втулке.

при ударах по ней молотком через оправку (фиг. 42, *в*).

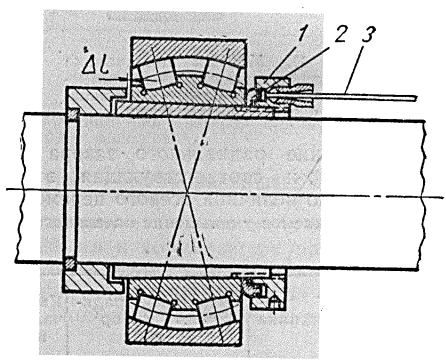
Затяжка стандартных закрепительных гаек подшипников небольших размеров производится ключами различных конструкций.

Наиболее удобен крючкообразный, ключ, захватывающий прорези на закрепительной гайке. Сначала гайку затягивают от руки (фиг. 43, *а*), а затем с помощью молотка (фиг. 43, *б*).



Фиг. 43. Затяжка ключом закрепительной гайки: *а* — первая стадия; *б* — вторая стадия

На фиг. 44 показан монтаж подшипника на закрепительной втулке с помощью специальной гидравлической гайки. В торце гайки *1*, навинченной на втулку, имеется цилиндрическая канавка, в которую вставлен круглый поршень *2*, снабженный кольцевыми уплотнениями.



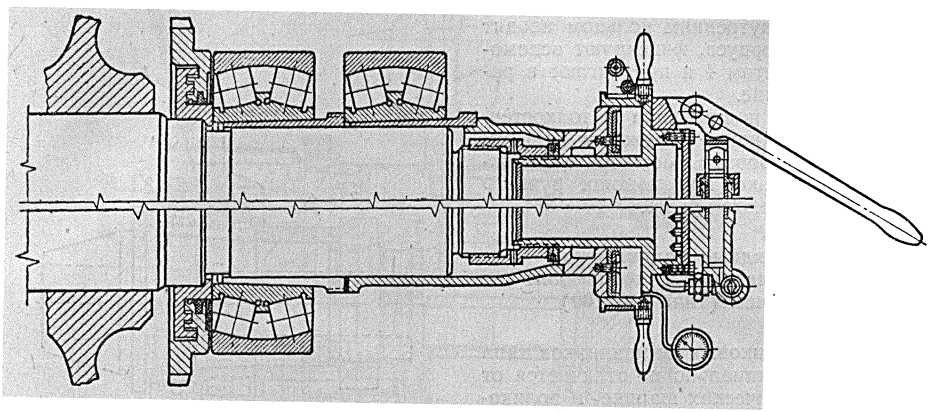
Фиг. 44. Монтаж подшипника на закрепительной втулке с помощью специальной гидравлической гайки.

К наружному торцу гайки присоединяют гибкий шланг *3* от масляного насоса. Под давлением масла поршень выдвигается из гайки и напрессовывает подшипник на посадочное место.

Аналогичным способом при помощи гайки подшипники напрессовывают на закрепительно-стяжную втулку или непосредственно на коническую шейку вала.

При серийном производстве однотипных узлов со сферическими роликоподшипниками на закрепительно-стяжных втулках, как, например, роликоподшипниковые буксы железнодорожного подвижного состава, успешно применяют гидравлические прессы (фиг. 45) и винтовые приспособления различных конструкций.

На фиг. 40 показан монтаж подшипника на закрепительно-стяжной втулке ударами молотка через монтажный стакан с рукояткой.



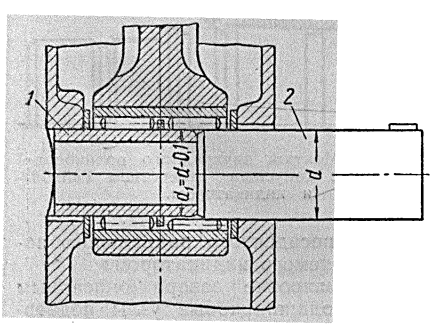
Фиг. 45. Монтаж сферических роликоподшипников на буксовых втулках при помощи гидравлического пресса.

После запрессовки подшипники должны быть надежно закреплены. Закрепительные гайки могут иметь различные конструкции. Наиболее распространена стандартная закрепительная гайка (по ГОСТ 8725-58) со стопорной шайбой. Для предохранения гайки от самоотвинчивания внутренний зуб шайбы вставляют в шпоночную канавку втулки или вала, а один из наружных зубьев шайбы загибают в прорезь гайки при их совпадении.

Игольчатые подшипники

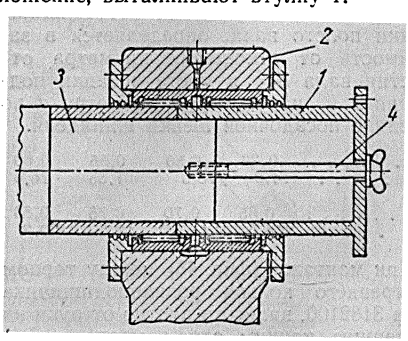
Для облегчения монтажа игольчатых подшипников поверхности качения наружного или внутреннего колец подшипника в зависимости от конструкции опоры, покрываются консистентной смазкой, на которую наклеивают иглы. Последняя игла должна входить с зазором.

Обычно игольчатые подшипники собирают, используя вспомогательные валики и втулки, наружный диаметр которых делается на 0,1—0,3 *мм* меньше диаметра вала.



Фиг. 46. Монтаж игольчатого подшипника со вспомогательной втулкой.

На фиг. 46 показан монтаж двухрядного игольчатого подшипника поршневого пальца вспомогательной втулкой. Наружное кольцо подшипника запрессовывают в отверстие головки шатуна, затем в кольцо вводят втулку *1* и зазор между втулкой и кольцом подшипника заполняют иглами, устанавливают шатун на место, в отверстие поршня вставляют валик *2* и, продвигая его в рабочее положение, выталкивают втулку *1*.



Фиг. 47. Монтаж игольчатого подшипника посредством монтажного стакана.

На фиг. 47 показан монтаж двухрядного игольчатого подшипника на цапфе

с помощью монтажного стакана. В этом случае наружное кольцо подшипника с двумя рядами игл монтируют на монтажном стакане *1* и вместе с ним устанавливают в корпус *2*. Цапфу *3* со смонтированным внутренним кольцом вводят в отверстие корпуса, фиксируют вспомогательным болтом *4* и продвигают в рабочее положение.

Игольчатые подшипники с тонкостенным штампованным наружным кольцом следует монтировать с большой осторожностью и только при помощи ручного или механического пресса.

Двухрядные радиальные роликоподшипники с коническим отверстием (типа 3182100)

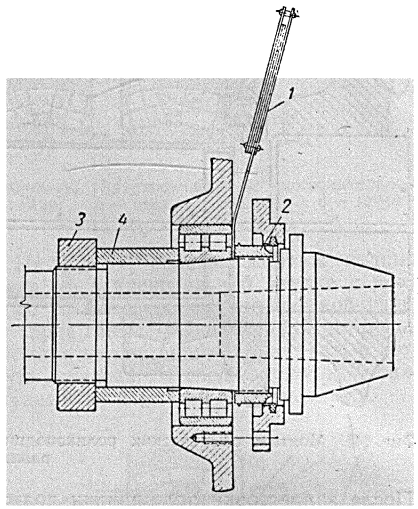
Монтаж роликовых подшипников типа 3182100 принципиально не отличается от монтажа сферических шарико- и роликоподшипников с коническим отверстием, но вследствии того, что роликоподшипники типа 3182100 выпускаются с высокой точностью и с меньшими начальными радиальными зазорами, чем сферические роликоподшипники, к их монтажу предъявляются более высокие требования. Осевое смещение, необходимое для уменьшения начального радиального зазора в подшипнике до требуемой величины, подсчитывается по формуле

$$\Delta l = k\,(e_н - e_п + a),\ мм,$$

где $e_н$ — начальный радиальный зазор; $e_п$ — посадочный радиальный зазор в подшипнике; a — постоянная величина, равная 0,01; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от толщины стенки полого вала; определяется в зависимости от отношения диаметра отверстия вала d_0 в месте посадки подшипника к наружному диаметру d по середине посадочной шейки шпинделя.

d_0/d	0,20	0,50	0,55	0,60
k	14,0	15,0	1,55	16,0
d_0/d	0,65	0,70	0,75	0,80
k	16,5	17,3	18,5	20,2

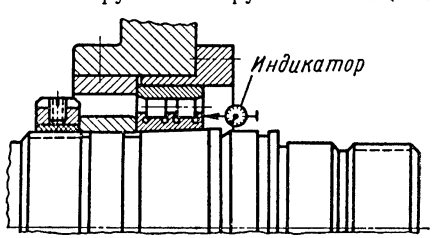
При монтаже (фиг. 48) между торцом внутреннего кольца роликоподшипника типа 3182100, надетого плотно от руки на смазанную тонким слоем масла шейку вала, и гайкой вставляют щуп *1* толщиной Δl (установленной путем подсчета), который слегка защемляется гайкой *2*. Затем щуп удаляют и с помощью гайки *3* и втулки *4* перемещают подшипник по конической шейке в осевом направлении до упора в торец гайки, т. е. на величину Δl.



Фиг. 48. Монтаж двухрядного роликоподшипника с конусным отверстием гайкой и щупом.

Определение осевого перемещения подшипника при монтаже можно также производить с применением индикатора (фиг. 49).

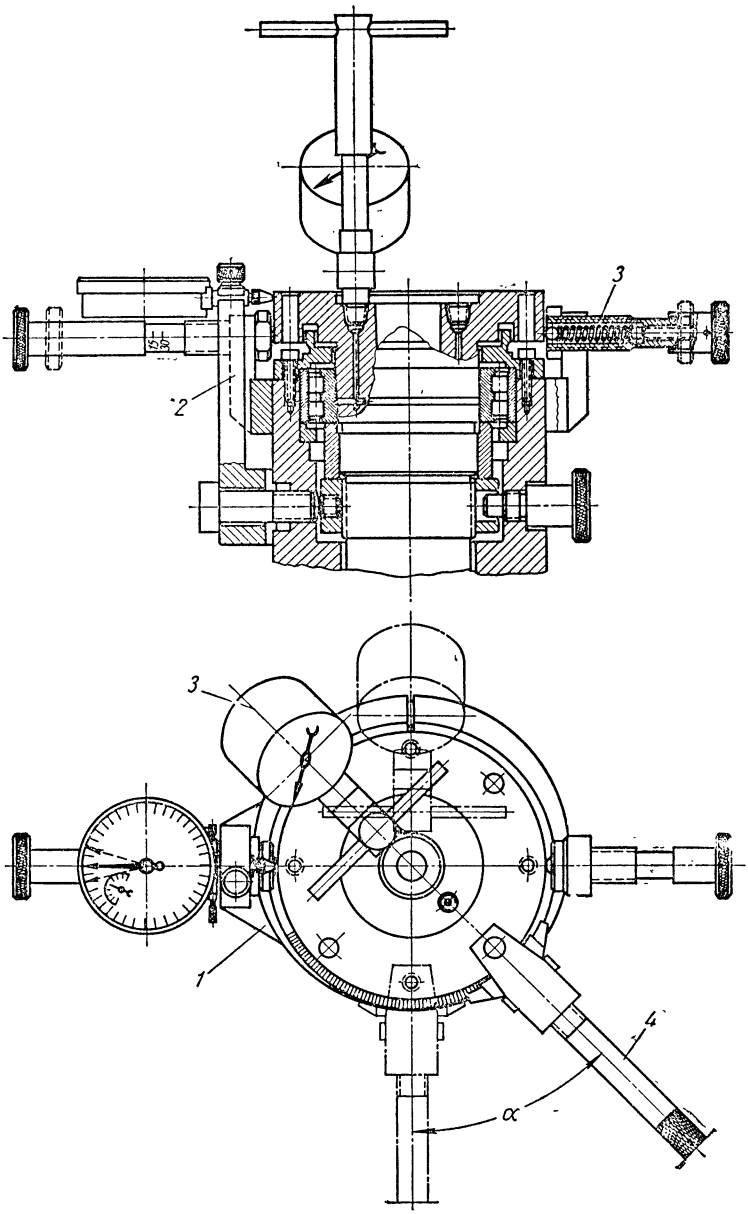
Правильность монтажа роликоподшипника определяется легкостью проворачивания от руки его наружного кольца и



Фиг. 49. Монтаж двухрядного роликоподшипника с конусным отверстием гайкой и индикатором.

величиной посадочного радиального зазора, замеряемого индикатором.

При регулировке зазора описанным способом подшипниковые узлы подвергаются неоднократной разборке. Для навинчивания регулировочной гайки при сборке узла необходимы большие усилия, что создает тяжелые условия регулировки радиального зазора в



Фиг. 50. Монтаж двухрядного роликоподшипника с конусным отверстием специальным приспособлением, состоящим из кронштейна *2* с микронным индикатором, масляного насоса *3*, динамометра *1* и ключа *4*.

подшипнике с высокой точностью в заданных пределах.

В Росглавподшипникснабсбыте разработана и внедрена оригинальная конструкция приспособления (фиг. 50), позволяющего регулировать и замерять радиальные зазоры в подшипниках типа 3182100 с точностью до 0,001 *мм* в окончательно собранном узле без его разборки.

Уменьшение или увеличение радиального зазора в подшипнике производится за счет расширения внутреннего кольца подшипника в результате перемещения его по конической шейке вала, осуществляемого посредством гайки и масла, вводимого под давлением.

Приспособление состоит из четырех отдельных узлов:

динамометра *1*, предназначенного для нагружения переднего конца валика силой до 30 *кГ* с целью полного устранения имевшегося в подшипнике радиального зазора;

кронштейна *2* для закрепления на корпусе головки микронного индикатора, по показанию которого определяется имеющийся в подшипнике радиальный зазор;

масляного насоса *3*, осуществляющего подачу масла под давлением до 200 *ат* в кольцевую проточку на конической шейке валика; конструкция насоса (инжектора) аналогична показанной на фиг. 40; коническая резьба корпуса позволяет ему быстро и плотно соединяться с валиком;

ключа *4*, которым валик поворачивают вокруг оси при затяжке регулировочной гайки.

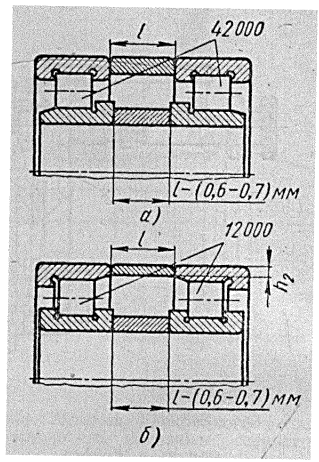
Требуемое уменьшение или увеличение зазора достигается поворотом гайки на угол α, выбираемый по специально составленной таблице в зависимости от шага резьбы. Необходимый угол поворота гайки отсчитывается по нониусу нанесенному на приспособлении.

Расширение внутреннего кольца подшипника гайкой и маслом под давлением дает возможность в 70—100 раз уменьшить усилие, прикладываемое к гайке при ее навинчивании и применить ключ с длиной плеча порядка 250 *мм*.

Монтаж в одной опоре двух радиальных роликоподшипников

Радиальные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами при установке их по два в одной опоре должны комплектоваться по радиальным зазорам и допускам на диаметры посадочных поверхностей. Точность комплектовки устанавливается в зависимости от назначения опоры.

При расположении подшипников типа 42000 (фиг. 51, *а*) бортами внутренних колец один к другому или типа 12000 (фиг. 51, *б*) безбортовыми торцами наружных колец один к другому, высота дистанционной втулки, помещенной между внутренними кольцами, должна быть на 0,6—0,7 *мм* меньше высоты дистанционной втулки, установленной между наружными кольцами.



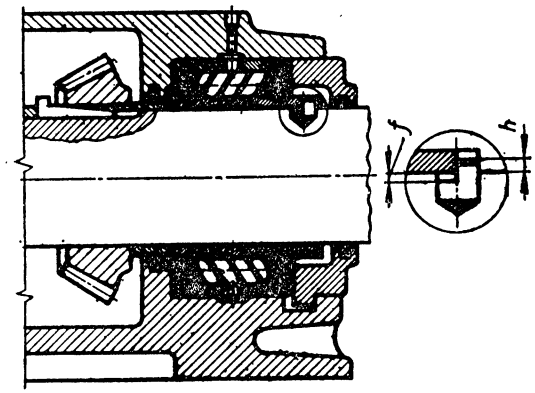
Фиг. 51. Комплектовка двух роликоподшипников с дистанционными втулками.

При расположении подшипников типа 42000 безбортовыми торцами внутренних колец один к другому или типа 12000 бортами наружных колец один к другому высота дистанционной втулки, установленной между внутренними кольцами, должна быть на 0,6—0,7 *мм* больше высоты дистанционной втулки, помещенной между наружными кольцами.

Роликоподшипники с витыми роликами и удлиненным внутренним кольцом

Внутренние удлиненные кольца подшипников типа 15000 с витыми роликами при установке на гладкие валы закрепляют от проворачивания и осевых смещений относительно вала дюбелями (фиг. 52). Дюбели должны плотно входить в гнезда на валу и в пазы на внутреннем кольце подшипника. Высоту выступающей части дюбеля делают

меньше толщины внутреннего кольца безбортового роликоподшипника.



Фиг. 52. Монтаж роликоподшипника с витыми роликами и удлиненным внутренним кольцом.

Установочные размеры дюбелей (фиг. 52) приведены ниже.

Подшипники	*h* в *мм*	*f* в *мм*
15707	3	3
15725	12	25
15826	8	4
15736	13,5	4
3015220	7,5	4

Во всем остальном при монтаже этих подшипников следует придерживаться общих положений.

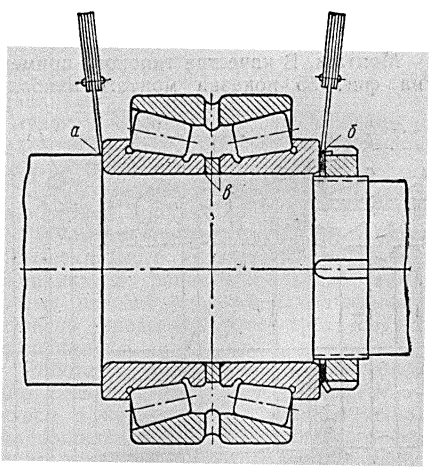
Проверка подшипников после установки

После установки с натягом подшипника, воспринимающего осевые усилия, необходимо убедиться в плотном прилегании его к заплечику вала или корпуса. Проверка производится по световой щели либо при помощи щупа толщиной от 0,03 *мм*. Внутренние кольца двухрядных конических роликоподшипников нерегулируемого типа должны быть до отказа зажаты на валу и надежно закреплены. Зазоры в местах *а*, *б* и *в* (фиг. 53) не допускаются. Проверяется также наличие у подшипника посадочного радиального зазора (кроме специальных случаев монтажа подшипников с предварительным натягом). Проверка радиального зазора у роликоподшипников с цилиндрическими и бочкообразными роликами наиболее просто осуществляется щупом.

Наиболее простой способ контроля наличия посадочного зазора в однорядных радиальных шарикоподшипниках нормального класса точности заключается в проверке на легкость проворачивания подшипника от руки и в покачивании наружного кольца подшипника в осевом направлении.

В смонтированном подшипнике не должно быть заметного торможения; подшипник должен легко и плавно вращаться. При покачивании наружного кольца подшипника в осевом направлении даже незначительный радиальный зазор порядка 0,01 *мм* дает в верхней точке осевое смещение порядка 0,1—0,15 *мм*, что может быть легко обнаружено.

При необходимости более точного измерения зазора пользуются индикатором.



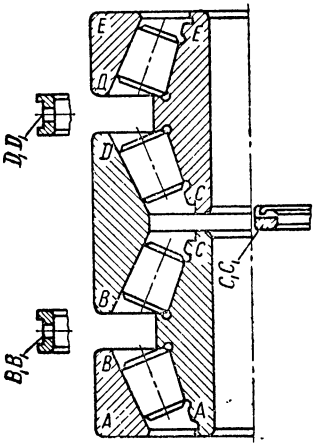
Фиг. 53. Проверка правильности установки подшипника щупом.

Монтаж и регулировка четырехрядных конических роликоподшипников

Монтаж. демонтаж и регулировка четырехрядных конических роликоподшипников производятся на специальном монтажном участке или хорошо организованном рабочем месте.

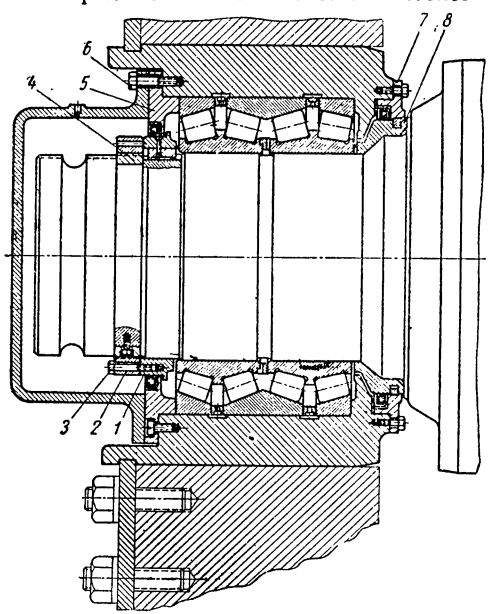
Детали подшипников не взаимозаменяемы, поэтому их надо собирать в строгом соответствии с заводской маркиров-

кой (фиг. 54). Перепутывание колец подшипника совершенно недопустимо.



Фиг. 54. Маркировка четырехрядного конического реликоподшипника.

Монтаж. В качестве типового примера на фиг. 55 показан монтаж наиболее



Фиг. 55. Валковая опора рабочей клетки непрерывного тонколистового стана на четырехрядном коническом роликоподшипнике: *1* — промежуточное кольцо; *2* — закрепительная гайка; *3* — стопорный болт; *4* — резьбовые полукольца; *5* — передняя торцовая крышка; *6* — болт; *7* — задняя торцовая крышка; *8* — бандаж.

крупных четырехрядных конических роликоподшипников опорных валков клетей тонколистового стана. Монтаж производится в следующем порядке.

1. После соответствующей подготовки и контроля подшипника и деталей узла укладывают подушку (фиг. 56) на деревянные бруски отверстием кверху со строго вертикальным положением ее оси.

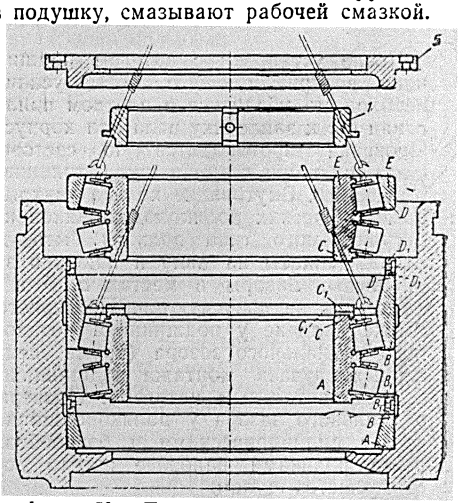
2. Наружное кольцо подшипника AB опускают в посадочное место подушки. Легкими ударами медным стержнем по торцу B кольцо выравнивают от перекосов и доводят до заплечика заднего бурта подушки.

Плотность прилегания кольца к заплечику подушки проверяется по всей окружности щупом, вводимым между торцами заплечика подушки и кольцом подшипника. Затем укладывают дистанционное кольцо B_1 B_1.

3. Внутреннее кольцо AC в сборе с наружным кольцом BD при помощи четырех грузовых болтов (ввинченных в отверстия на торцовой поверхности сепараторов) и тросов одновременно поднимают краном и осторожно опускают в подушку так, чтобы ролики установились на дорожке качения кольца AB. Затем укладывают на свои места дистанционные кольца C_1 C_1 и D_1 D_1.

4. Таким же способом монтируют в подушку внутреннее кольцо CE в сборе с наружным кольцом DE.

Все детали подшипника, монтируемые в подушку, смазывают рабочей смазкой.

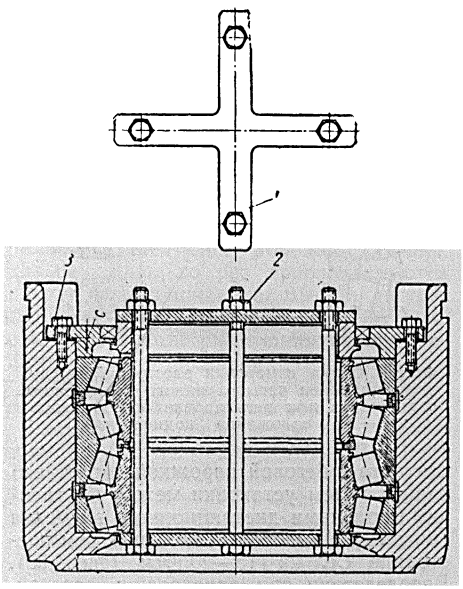


Фиг. 56. Последовательность монтажа четырехрядного конического роликоподшипника в подушку (см. фиг. 55).

Для лучшего распределения смазки между деталями подшипника, перед вывинчиванием грузовых болтов из сепараторов кольца *AC* и *CE* несколько раз проворачивают.

5. На смонтированный в подушку подшипник укладывается промежуточное стопорное кольцо *1* и фланцевая крышка *5*, закрепляемая четырьмя болтами.

6. Подушку укладывают в горизонтальное положение и в нее устанавливают специальную крестовину *1* (фиг. 57). Равномерной затяжкой (до отказа)



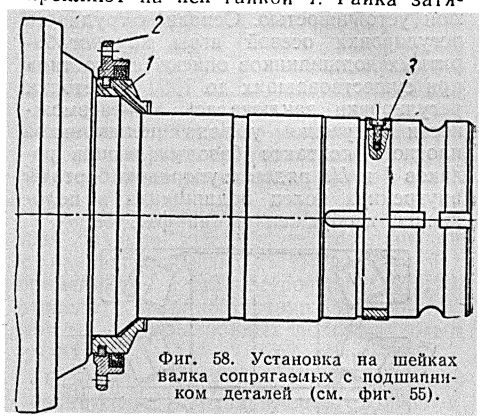
Фиг. 57. Определение зазора между торцом подушки и передней торцовой крышкой (см. фиг. 55).

болтов *2*, *3* фланцевой крышки и крестовины достигают плотного соединения всех частей подшипника. Затем подушку устанавливают отверстием кверху и щупом проверяют зазор *c* между торцами крышки и подушки.

7. Сняв крышку, на торец подушки укладывают шнур диаметром $d_ш = C + 2 \div 3$ *мм* из маслостойкой резины, после чего крышку вновь затягивают до отказа; все болты законтривают, а крестовину удаляют.

8. Валок (фиг. 58) устанавливают на специальные деревянные или металлические сварные козлы, после чего на шейку валка напрессовывают бандаж *1* (фиг. 58), надвигают фланцевую крышку *2* со смонтированным в ней уплотнением, а в проточке на шейке устанавливают и закрепляют винтами два полукольца *3*.

9. При помощи тросов подушку, в сборе с подшипником, надвигают с помощью крана на шейку валка (фиг. 55) и закрепляют на ней гайкой *4*. Гайка затягивается до отказа. Затем болт *3* устанавливают в отверстие гайки *2* и ввертывают при совпадении его с одним из многочисленных отверстий в торец промежуточного кольца *1*.



Фиг. 58. Установка на шейках валка сопрягаемых с подшипником деталей (см. фиг. 55).

Демонтаж подшипников производится в обратном порядке.

Регулировка. Величина осевой игры четырехрядного конического роликоподшипника и равномерность ее между всеми рядами роликов в значительной степени предопределяют срок службы подшипника.

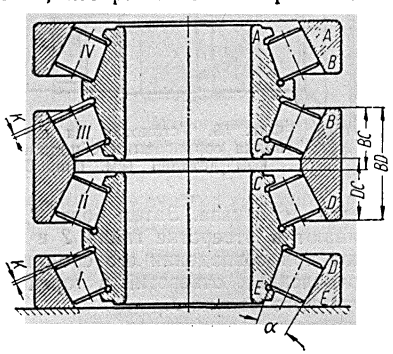
Работа с увеличенной игрой, совсем без осевой игры или с разной осевой игрой в каждом ряде роликов одного подшипника выше установленного предела приводит к прогрессивному износу всех деталей подшипника. В процессе эксплуатации, в результате износа рабочих поверхностей колец и роликов, осевая игра подшипника увеличивается и после ее возрастания выше установленного предела следует снова отрегулировать подшипник.

Уменьшение осевой игры четырехрядных конических роликоподшипников достигается за счет соответствующей подшлифовки дистанционных колец.

Контроль осевой игры производится путем определения разности высот дистанционных колец D_1D_1, B_1B_1 и C_1C_1 и соответствующим им расстоянии

между торцами колец *DD*, *BB* и *CC* (см. фиг. 54).

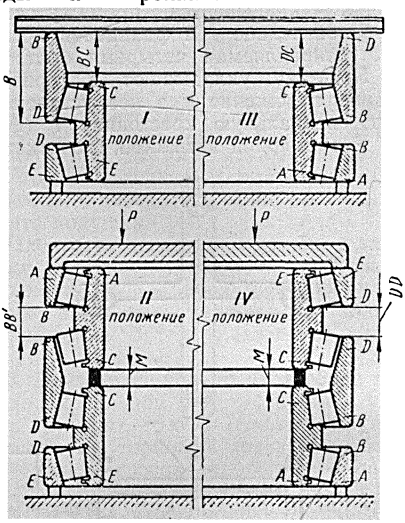
Регулировка подшипников должна производиться в чистом светлом помещении на специальном массивном стальном или металлическом столе сварной конструкции с массивной верхней чугунной плитой. Стол должен обладать большой устойчивостью. Основная трудность регулировки осевой игры крупногабаритных подшипников описываемого типа при существовавших до 1960 г. методах регулировки заключалась в невозможности получения у ряда подшипников плотного контакта базовых торцов роликов *I* и *III* рядов с упорными бортами внутренних колец подшипника в положении, изображенном на фиг. 59.



Фиг. 59. Четырехрядный конический роликоподшипник без дистанционных колец: *к* — величина смещения роликов от упорного борта подшипника; *I—IV* — ряды роликов.

Ролики в этих рядах под действием собственного веса и веса сепаратора стремятся отойти от упорного борта на величину *K*, в результате чего осевая игра подшипника определяется со значительными погрешностями. Относительно правильно определить осевую игру подшипника существовавшими ранее методами можно только у подшипников, имеющих большие углы конуса роликов ($\alpha = 3 \div 5°$), например, у подшипников 77752, 777792, 77760, 777770, когда удается обеспечить плотный контакт базовых торцов роликов с упорными бортами колец. У подшипников, имеющих углы конусности роликов $\alpha < 3°$, как, например, у подшипников 77779, 77896, 77860 и 779/600, добиться плотного контакта базовых торцов роликов с упорными бортами не представляется возможным.

Новый метод регулировки четырехрядных конических роликоподшипников, исключает влияние торцовых зазоров, образующихся у *I* и *III* рядов роликов, на результаты замеров. В этом случае при определении расстояний *BB* и *DD* ряды *I* и *III* роликов выключаются из



Фиг. 60. Схема измерения расстояний между торцами колец четырехрядного конического подшипника при регулировке осевой игры: *I — IV* положения подшипника.

контакта с беговой дорожкой наружного кольца путем установки между внутренними кольцами дистанционного элемента (призмы) с высотой *M* большей, чем расстояние *CC* на 15—20 *мм* (фиг. 60). Впоследствии при определении расстояний *DD* и *BB* эта величина из расчета вычитается. В рекомендуемом методе регулировки точнее определяется расстояние *CC* между торцами внутренних колец подшипника.

Определение расстояний *BB*, *DD* и *CC* производится в следующем порядке: на регулировочном столе собирается кольцо подшипника *ED* в сборе с кольцами *CE* и *DB* без дистанционного кольца (положение *I*, фиг. 60) и замеряется расстояние *BC* между торцами колец *EC* и *BD*, а также высота наружного кольца подшипника *BD*.

Затем на торец *C* кольца *EC* (положение *II*) устанавливают призмы высотой *M*, кольца *CA* и *BA* без дистанционного кольца B_1B_1, груз *P* (равный от 0,25÷0,5 веса подшипника) и замеряется расстояние между торцами колец BB^1.

После этого подшипник перекантовывается и по схеме *III* собираются кольца *AB* в сборе с кольцами *AC* и *BD* и замеряется расстояние *DC* между торцами колец подшипника *AC* и *BD* и, наконец, согласно положению *IV*, на торце *C* кольца *AC* устанавливают призмы высотой *M*, кольца *CE* и *DE* (без дистанционного кольца D_1D_1) и груз *P*, после чего замеряется расстояние между торцами колец подшипника. Определение всех размеров между деталями подшипника производится при строго горизонтальном положении торца нижнего кольца.

Замеры высот дистанционных колец B_1B_1, D_1D_1 и C_1C_1, а также расстояние между торцами колец производят в четырех сечениях через каждые 90°. За фактическую величину каждого размера принимают среднеарифметическую величину четырех замеров. Перед замерами расстояний между торцами колец, для обеспечения правильного положения роликов относительно дорожек качения, кольца несколько раз проворачиваются вокруг оси подшипника. Высота дистанционных колец измеряется микрометром, соответствующие расстояния между торцами колец подшипника — концевыми плоскопараллельными мерами или микрометрическим глубиномером.

Размер *CC* определяется по положениям *I* и *III*: $CC = DC + BC - BD$. Размер *BB* определяется по положению *II*: $BB = BB' - (M - CC)$, где *M* — дополнительная величина (призмы), высота которой назначается из условия $M = CC + (15 \div 20$ *мм*$)$. Размер *DD* определяется по положению *IV*: $DD = DD' - (M - CC)$.

Определив размеры расстояний *BB*, *DD* и *CC*, устанавливают размеры соответствующих дистанционных колец.

Высота дистанционных колец:

$$B_1B_1 = BB + S; \quad D_1D_1 = DD + S; \quad C_1C_1 = CC + S,$$

где *S* — величина осевой игры между рядами роликов *I* и *II*, *II* и *III*, *III* и *IV*, выбираемая в зависимости от внутренней конструкции в габаритных размеров подшипника по табл. 6.

Допустимую неравномерность осевой игры *S* между рядами роликов одного подшипника принимают равной 0,1 *мм*.

Допускаемая непараллельность торцов дистанционных колец не должна превышать половины величины допуска на неравномерность осевой игры между рядами роликов.

6. Величины начальной осевой игры четырехрядных конических роликоподшипников осевого заряда

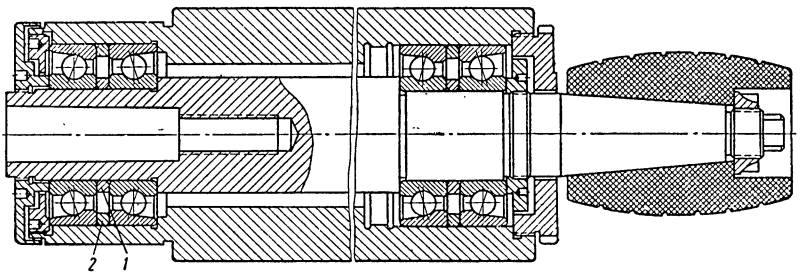
Внутренний диаметр подшипника в *мм*		Начальная осевая игра в *мм*
От	До	
120	180	0,3÷0,4
180	315	0,4÷0,5
315	400	0,5÷0,6
400	500	0,6÷0,7
500	630	0,7÷0,8
630	800	0,8÷0,9
800	1000	0,9÷1,0

Сдваивание радиально-упорных шарико- и роликоподшипников с предварительным натягом

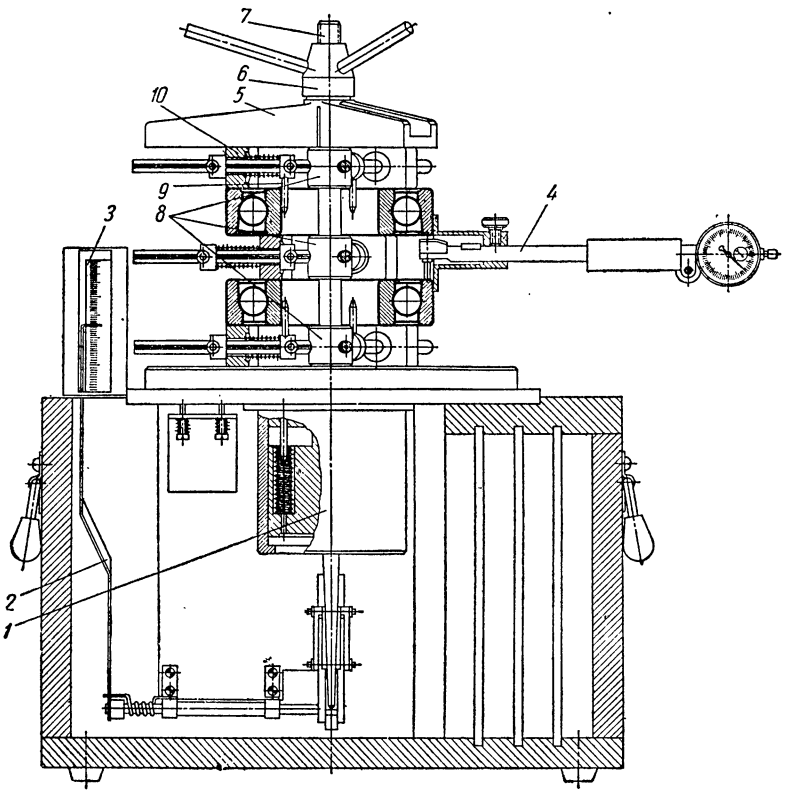
Сдвоенные комплекты радиально-упорных шарико- и роликоподшипников с предварительным натягом (фиг. 61) применяются в станкостроении и других отраслях машиностроения во многих точных и прецизионных подшипниковых узлах.

Сдваивание парного комплекта подшипников с предварительным натягом осуществляется на ряде машиностроительных заводов при помощи различных приспособлений, большинство из которых весьма примитивной конструкции. Комплектовка на таких приспособлениях отнимает много времени и не дает нужных результатов. Более совершенным является специальный прибор ПКП-500 (фиг. 62), разработанный конструкторским отделом Росглавподшипникснабсбыта. С помощью прибора замеряется величина смещений в осевом направлении наружных колец относительно внутренних в комплектуемой паре подшипников под действием заданной осевой нагрузки. По величине найденного относительного смещения определяют разность в высотах дистанционных втулок, устанавливаемых между торцами внутренних и наружных колец комплектуемой пары подшипников, или величину необходимой подшлифовки торца одного из колец шарикоподшипника с целью обеспечения сборки сдвоенных подшипников с заданным предварительным натягом. Кроме того, на приборе можно производить тарировку пружин, применяемых в конструкциях подшипниковых узлов.

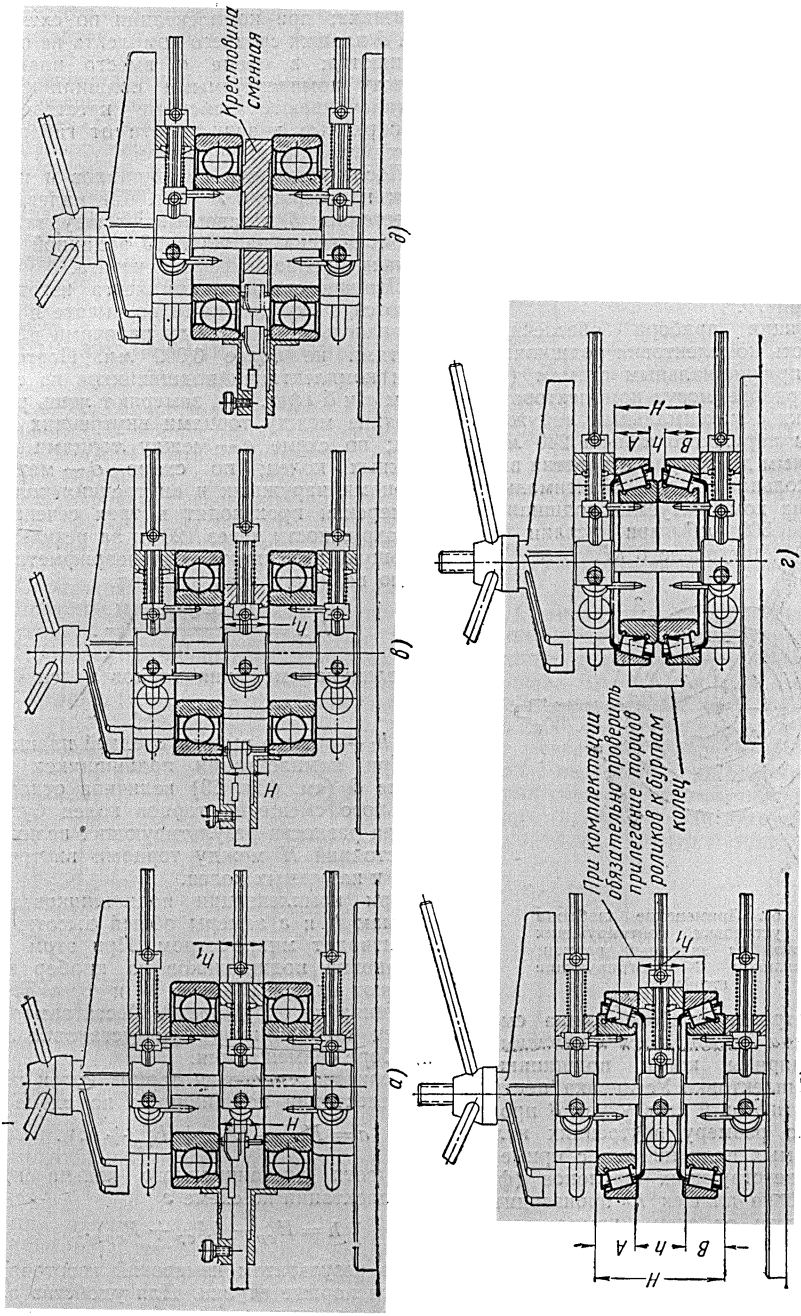
Прибор состоит из следующих основных частей (фиг. 62): пружинного механизма *1*, создающего нагружение комплектуемой пары подшипников силой *P кГ*, соответствующей величине заданного предварительного натяга; стрелки *2*,



Фиг. 61. Внутришлифовальная головка: *1* — внутреннее дистанционное кольцо; *2* — наружное дистанционное кольцо.



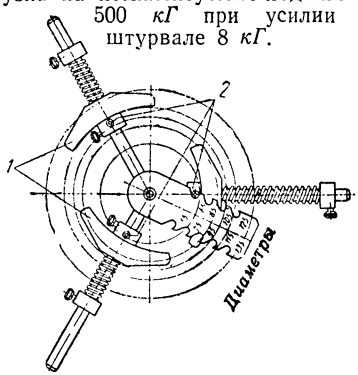
Фиг. 62. Общий вид прибора для комплектации радиально-упорных шарико- и роликоподшипников с предварительным натягом ПКП-500.



Фиг. 63. Схемы комплектовки подшипников с предварительным натягом на приборе ПКП-500.

показывающей на шкале *3* нагрузку в зависимости от сжатия пружин; (цена одного деления шкалы зависит от количества установленных пружин и равна: при 3, 6, 9, 12, 15 и 18 пружинах, соответственно, 1, 2, 3, 4, 5 и 6 *кГ*; нутромера-индикатора *4*, предназначенного для измерения расстояний между торцами колец комплектуемых подшипников с точностью до 0,01 *мм*; постоянной крестовины *5*; гайки со штурвалом *6*; сменных стержней *7*; втулок *8* с передвижными центрирующими штифтами *9* и плашками *10*.

Конструкция прибора обеспечивает возможность комплектовки подшипников по трем принципиальным схемам (фиг. 63). На приборе могут комплектоваться подшипники с максимальным наружным диаметром наружного кольца 240 *мм* и минимальным диаметром отверстия внутреннего кольца 55 *мм*. Максимальная нагрузка на комплектуемые подшипники 500 *кГ* при усилии на штурвале 8 *кГ*.



Фиг. 64. Применение шаблона для установки центрирующих штифтов на заданный размер: *1* — плашки; *2* — центрирующие штифты.

При настройке прибора длина сменного стержня *7* выбирается в зависимости от ширины колец подшипников и схемы комплектовки. Установка центрирующих штифтов *9* на втулках *8* производится по размеру внутренних колец комплектуемых подшипников с применением соответствующих шаблонов (фиг. 64). Установка плашек *10* производится в зависимости от схемы комплектовки. При комплектовке по схемам, показанным на фиг. 63, *а* и *б*, плашки среднего комплекта устанавливаются по наружному кольцу нижнего подшипника, а по схеме *в* — по внутреннему кольцу подшипника; при комплектации по схемам *г* и *д* плашки среднего комплекта не применяются; в схеме *д* вместо плашек между комплектуемыми подшипниками устанавливаются сменные крестовины, выбираемые в зависимости от габаритных размеров подшипников.

После установки подшипников и плашек на стержень *7* (фиг. 62) надевают крестовину *5* и завертывают штурвал *6* до показания на шкале *3* заданной нагрузки предварительного натяга.

Плашки среднего комплекта изготовляются с отклонениями по высоте и непараллельностью между рабочими плоскостями не более 0,002 *мм*. Поэтому при комплектации подшипников по схемам *а* и *б* (фиг. 63), замеряют лишь расстояние между торцами внутренних колец; по схеме *в* — между торцами наружных колец; по схеме *д* — между торцами наружных и внутренних колец. Измерения производят в трех сечениях по окружности через 120° и за результирующую принимают среднеарифметическую величину трех замеров.

$$H_{ср} = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}.$$

Величина смещения торцов колец

$$a = h_1 - H_{ср},$$

где h_1 — размер высоты средней плашки.

При комплектации подшипников по схеме *д* (см. фиг. 63) величина относительного смещения торцов колец будет равна разности результирующих величин расстояний H между торцами внутренних и наружных колец.

При комплектации подшипников по схемам *б* и *г* замеры общей высоты H производят микрометром. При этом до установки подшипников на прибор замеряют ширины колец A и B в трех сечениях по окружности. Места замеров колец подшипников при установке на приборе совмещаются.

Величина смещения торцов колец при комплектации подшипников по схеме *б*

$$a = H_{ср} - (A_{ср} + B_{ср} + h_1).$$

Высота дистанционного кольца при комплектации по схеме *г*

$$h = H_{ср} - (A_{ср} + B_{ср}).$$

По результатам измерений изготовляют распорные втулки. Для удобства замеров конструкцией прибора предусмотрена возможность вращения подшипни-

ков вместе с диском на 120, 240 и 360° с фиксацией поворота на плите прибора.

По окончании измерений парный комплект подшипников снимают с прибора и в порядке, в каком он был установлен на приборе, связывают и подвергают соответствующей консервации. К каждой паре скомплектованных подшипников должна привязываться бирка с указанием величины нагрузки, под какой они комплектовались, величины относительных смещений колец и даты комплектации.

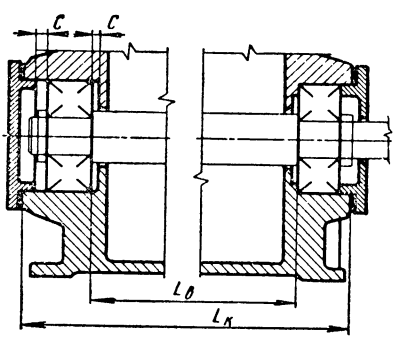
МОНТАЖ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

После установки валов в сборе с подшипниками в корпус особенно внимательно должны быть произведены следующие операции:

1. Регулировка осевой игры подшипников — при монтаже опор на радиально-упорных подшипниках регулируемых типов.

2. Окончательная выверка корпусов — при монтаже валов в отдельно стоящих корпусах.

3. Проверка зазоров между подшипником и стенками или торцами фланцевых крышек корпуса — при монтаже

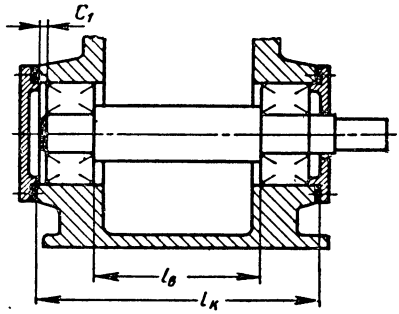


Фиг. 65. Конструкция подшипникового узла с опорой, фиксирующей вал.

валов на радиальных и радиально-упорных подшипниках нерегулируемых типов с соблюдением следующих величин зазоров:

а) при наличии фиксирующей опоры вала (фиг. 65) размеры зазоров C между торцами деталей корпуса и наружным кольцом подшипника плавающей опоры вала назначаются в пределах 3—5 *мм* при $L_в$ до 1000 *мм*, 5—8 *мм* при $L_в$ свыше 1000 до 3000 *мм*; если в плавающей опоре вала применяется радиальный роликовый подшипник без бортов на одном из колец, зазор C допускается не более 0,3 *мм*;

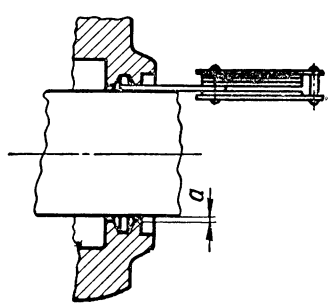
б) при установке в узел подшипников нерегулируемых типов; без их закрепления от осевого перемещения (фиг. 66),



Фиг. 66. Конструкция подшипникового узла с установкой подшипников нерегулируемых типов в распор.

зазор C_1 между торцами крышек и подшипниками, на которые действует односторонняя осевая нагрузка, принимается в пределах 0,4—0,5 *мм* при $L_в$ свыше 300 до 500 *мм*; 0,5—0,7 *мм* при $L_в$ свыше 500 до 1000 *мм*;

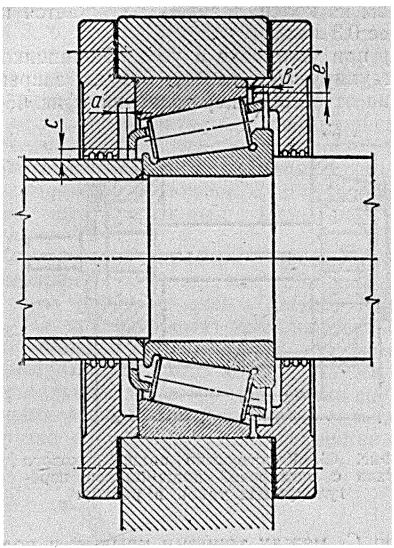
в) в реверсивных передачах и в передачах с вертикальными валами, нагруженными осевыми силами, направленными вверх (причем осевая нагрузка больше веса вала), размер зазора устанав-



Фиг. 67. Проверка правильности расположения расточки в крышке корпуса относительно вала.

ливается в пределах 0,15—0,20 *мм* при $L_в$ свыше 300 до 500 *мм*; 0,2—0,3 *мм* при $L_в$ свыше 500 до 1000 *мм*.

Приведенные выше величины зазоров C_1 в реверсивных передачах применяются в тех случаях, когда разность рабочих



Фиг. 68. Установочные размеры конического роликоподшипника.

температур вала и корпуса не превышает 20° при указанных размерах длины вала.

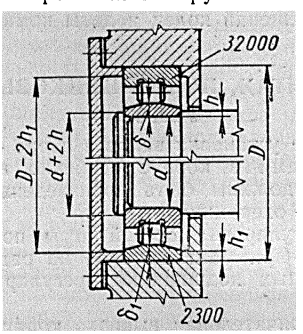
4. Проверка на несоприкасание вращающихся деталей с невращающимися при монтаже торцовых крышек, разрезных дистанционных колец, распорных втулок, уплотняющих устройств и других сопряженных с подшипниками деталей.

Зазор a между валом и расточкой уплотнений должен быть в пределах 0,25—0,5 *мм* на сторону (фиг. 67).

В узле с однорядными, двухрядными или четырехрядными коническими роликоподшипниками должны быть гарантированные зазоры, a, $в$, c, e (фиг. 68) между сепараторами этих подшипников и другими деталями узла.

Высота заплечиков вала, упорной шайбы, корпуса и крышки для радиальных роликоподшипников типов 32000, 2300 и др. должна быть всегда меньше толщины безбортового внутреннего или наружного кольца, т. е. размеры $h < б$ и $h_1 < б_1$ (фиг. 69).

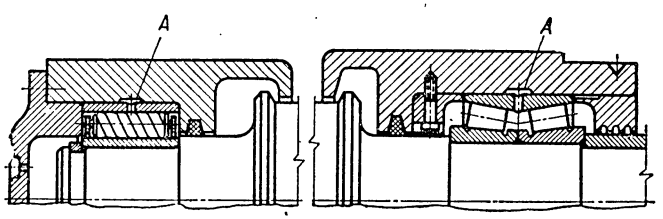
5. Проверка совпадения проточек A для подачи масла в корпусах со смазочными отверстиями в наружных кольцах



Фиг. 69. Установочные размеры цилиндрического роликоподшипника.

подшипников с витыми роликами, а также двух- и четырехрядных конических роликоподшипников (фиг. 70).

6. Проверка относительных смещений внутренних колец подшипников относительно наружных. Эти смещения не



Фиг. 70. Правильное расположение смазочных отверстий подшипников с проточками в корпусах.

должны превышать следующих пределов:

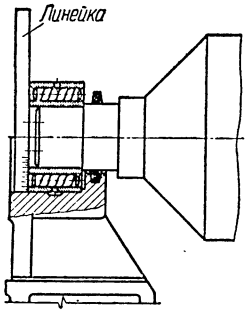
а) для радиальных роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами без бортов на одном из колец 0,5—1,5 *мм*;

б) для роликоподшипников с витыми и длинными цилиндрическими роликами 1—2 *мм*.

Смещение колец роликоподшипников

в разъемных корпусах проверяется линейкой и щупом (фиг. 71).

7. Выверка соединительных полумуфт, которая должна обеспечить необходимую



Фиг. 71. Проверка смещения колец роликоподшипников линейкой и щупом

соосность установки валов с допускаемыми отклонениями по техническим условиям.

8. После сборки, убедившись в надлежащем ее качестве, все подшипники надо смазать рабочей смазкой, закрыть корпусы, установить торцовые крышки, затянуть болтами и законтрить их, подвести необходимую смазку.

ПРОБНЫЙ ПУСК

Для своевременного выявления и устранения возможных дефектов подшипниковых узлов перед сдачей их в эксплуатацию необходимо произвести пробный пуск. При пробном пуске (холостом и под нагрузкой) подшипниковый узел проверяют главным образом на бесшумность хода и нагревание.

Прослушивание вращения подшипников производится стальным стержнем, трубкой или статоскопом, один конец которого плотно прижимается к уху, а другой — к корпусу проверяемого подшипника. Глухой прерывистый шум указывает на загрязнение подшипника, свистящий звук — на недостаток смазки или наличие трения между соприкасающимися деталями узла.

Прослушивая подшипники, необходимо учитывать особенности узла и природу шума при его работе, так как, кроме дефектов подшипниковых узлов, ненормальный шум может быть вызван зубчатыми передачами, соединительными муфтами и другими неправильно изготовленными или плохо пригнанными деталями. В связи с этим заключение о причинах ненормального шума можно сделать только после тщательной проверки и прослушивания работы всех деталей механизма.

Температура подшипника при работе зависит от числа его оборотов, нагрузки и качества, количества и чистоты смазки. При обычных условиях работы температура подшипника не должна превышать температуры окружающей среды более чем на 30°.

При испытании подшипника в начальный период работы можно допустить несколько большее повышение температуры, чем указано выше. Однако это повышение температуры при нормальном изготовлении и сборке узла, надежной смазке, а также при правильном выборе и хорошем качестве подшипника через некоторое время должно прекратиться и температура должна понизиться до нормального уровня.

Нередки случаи, когда резкое повышение температуры вызывается чрезмерным трением уплотнений о шейку вала или избытком смазки.

При значительном нагреве подшипников, повышенном шуме, вибрациях, выбросе смазки и других дефектах работы опробование следует прекратить до устранения выявленных дефектов.

ДЕМОНТАЖ ПОДШИПНИКОВ

Необходимость демонтажа подшипников может возникнуть в случаях:

1) естественного износа или аварийного вывода подшипника из строя;

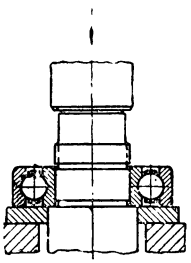
2) неправильно произведенного монтажа подшипника или сопряженных с ним деталей и необходимости повторной сборки узла;

3) ремонта оборудования и замены изношенных деталей без замены самого подшипника.

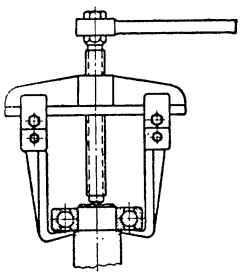
Соответственно с этим демонтаж может быть различным. При демонтаже пригодного для дальнейшей работы подшипника необходимо принимать меры предосторожности, исключающие возможность его повреждения. При демонтаже разрушенного подшипника эти меры излишни, но необходимо обеспечить сохранность других деталей. Демонтаж подшипников производится при помощи винтовых или гидравлических прессов, съемников и других приспособлений.

Демонтаж подшипников с цилиндрическим отверстием

На фиг. 72 показан демонтаж подшипника при помощи пресса. Для выпрессовки вала подшипник внутренним кольцом или обоими кольцами одновременно укладывают на две плоские подкладки или на кольцо.



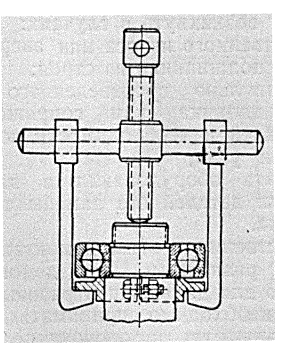
Фиг. 72. Демонтаж подшипника при помощи пресса.



Фиг. 73. Демонтаж подшипника при помощи специального винтового съемника небольших размеров.

На фиг. 73 представлен съемник для демонтажа подшипников небольших размеров. Тяги с захватами должны быть жесткими, с большим запасом прочности во избежание их деформации при работе.

Если захваты тяг недостают до борта внутреннего кольца подшипника и сзади него имеется свободное пространство,



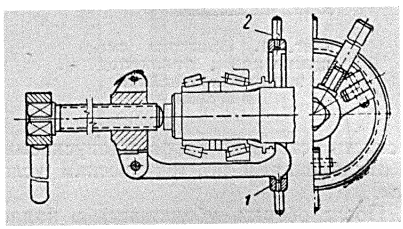
Фиг. 74. Демонтаж подшипника при помощи разъемного демонтажного кольца и винтового съемника.

то применяют съемники, соединенные с различными вспомогательными деталями: кольцами, скобами и хомутами. На фиг. 74 показан демонтаж подшипника типовым съемником простой конструкции с разъемным демонтажным кольцом.

Совместное использование съемника с кольцами, скобами или хомутами делает съемник более универсальным и надежным в работе.

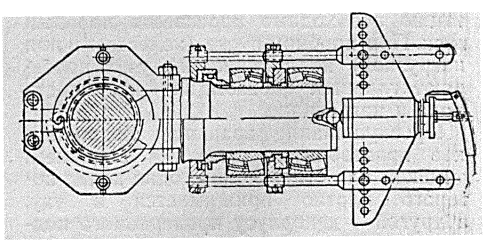
Во многих случаях демонтаж подшипника осуществляется посредством сопряженной с его внутренним кольцом детали: крышки корпуса, лабиринтного кольца, зубчатого колеса и т. п.

На фиг. 75 показан демонтаж подшипника при помощи съемника и бандажа, являющегося также лабиринтным кольцом. Захваты тяг поджимаются к валу при помощи обода *1* и винтов *2*.



Фиг. 75. Демонтаж подшипника при помощи винтового съемника и бандажа.

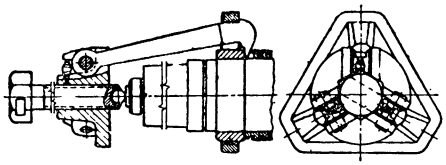
На фиг. 76 показан гидравлический съемник с ручным насосом, предназначенный для демонтажа подшипников больших размеров и, в частности, сферических роликовых подшипников железнодорожных букс.



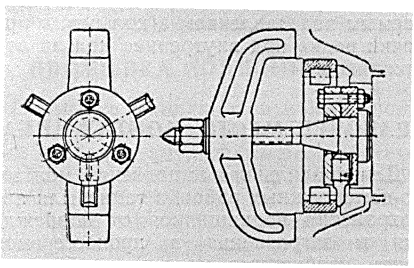
Фиг. 76. Демонтаж подшипника при помощи гидравлического съемника с ручным насосом.

На фиг. 77 и 78 представлены два съемника, предназначенные специально для снятия внутреннего и наружного колец подшипников, установленных в больших электродвигателях. Та же конструкция съемников может быть использована в обычных условиях при демонтаже простых деталей.

Для демонтажа наружных колец подшипников разборных конструкций может быть применен винтовой съемник

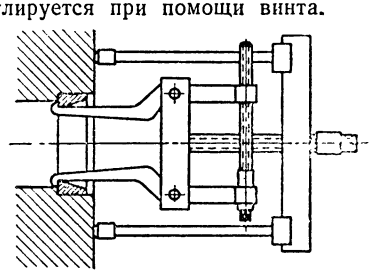


Фиг. 77. Демонтаж внутреннего кольца роликоподшипника электромотора при помощи винтового съемника.



Фиг. 78. Демонтаж наружного кольца роликоподшипника электромотора при помощи винтового съемника.

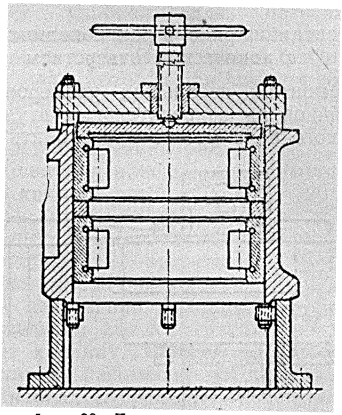
(фиг. 79), у которого положение захватов регулируется при помощи винта.



Фиг. 79. Демонтаж наружного кольца конического роликоподшипника при помощи специального съемника.

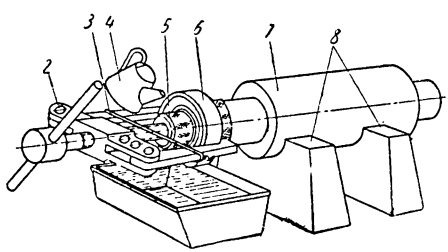
На фиг. 80 показан демонтаж наружных колец роликоподшипников вместе с распорными кольцами из корпуса роликоподшипниковой буксы при помощи винтового съемника.

Демонтаж подшипников с подогревом. В целях облегчения демонтажа крупногабаритных и других подшипников, смонтированных на валах со значительными натягами, нужно предварительно подогревать их минеральным маслом, нагретым до 90—100°. Для этого вал со смонтированным на нем подшипником укладывают на стойках (фиг. 81) и лейкой заливают внутрь подшипника горячее



Фиг. 80. Демонтаж наружных колец роликоподшипников из корпуса буксы при помощи винтового съемника.

масло так, чтобы оно попадало на его внутреннее кольцо. Те места вала, на которые может случайно попасть горячее масло, необходимо прикрыть асбестом или картоном, чтобы уменьшить



Фиг. 81. Демонтаж подшипников с подогревом: *1* — ванна с горячим маслом; *2* — съемник; *3* — проволока; *4* — лейка; *5* — асбест или картона; *6* — подшипник; *7* — вал; *8* — подставка.

нагрев вала и создать требуемую разность температур межу кольцом подшипника и валом.

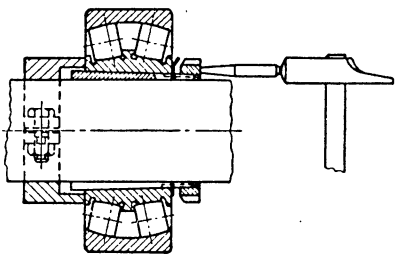
Перед поливкой горячим маслом рекомендуется заранее установить съемник и создать некоторый натяг его при помощи винта.

Для подогрева подшипников, так же как и при монтаже, весьма успешно применяются различного рода электронагревательные установки. Демонтаж внутренних колец цилиндрических

роликоподшипников может быть произведен при помощи установки для индукционного нагрева (см. фиг. 25).

Демонтаж шарико- и роликоподшипников с коническим отверстием

Демонтаж небольших размеров подшипников на закрепительных втулках с гладкого вала можно производить с по-



Фиг. 82. Демонтаж сферического двухрядного роликоподшипника на закрепительной втулке при помощи выколотки.

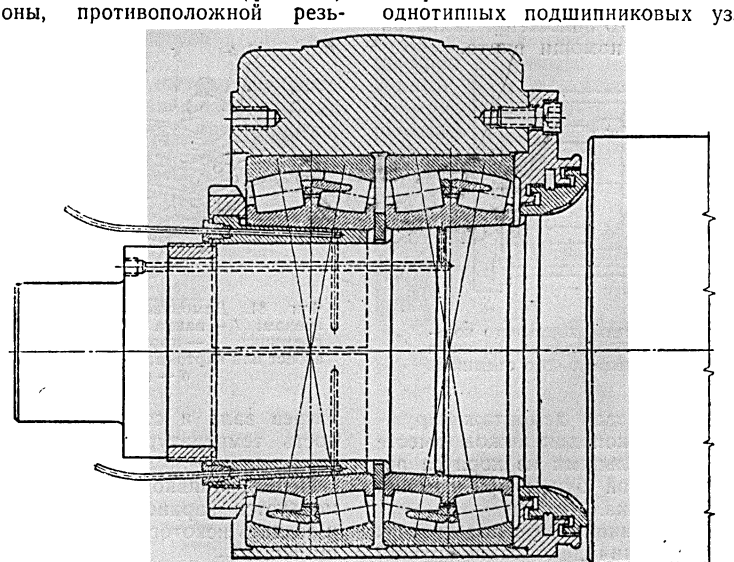
мощью отрезка трубы или разъемного хомута. Для этого хомутом, установленным на вал, создают осевой упор для внутреннего кольца подшипника (фиг. 82) со стороны, противоположной резьбовой части втулки. Затем гайку отвинчивают на несколько оборотов и резким ударом по ее торцу (через медную выколотку) выбивают втулку из подшипника. Подшипники на закрепительных и закрепительно-стяжных втулках больших размеров, а также подшипники, установленные непосредственно на конусных шейках, легче демонтировать посредством винтовых приспособлений, масла под давлением (см. фиг. 41), гидравлических съемников и гаек, применяемых при монтаже подшипников с коническим отверстием (см. фиг. 44).

На фиг. 83 показан демонтаж двухрядных сферических роликоподшипников с валка прокатного стана маслом, нагнетаемым под давлением в кольцевые проточки валка под внутренние кольца подшипников.

РАБОЧЕЕ МЕСТО МОНТАЖНИКА

Для правильного выполнения монтажно-демонтажных работ, а также для предохранения подшипников от повреждения и загрязнения в процессе монтажа, необходимо уделить особое внимание организации и оборудованию рабочего места монтажника.

При монтаже большого количества однотипных подшипниковых узлов ра-



Фиг. 83. Демонтаж двухрядных сферических роликоподшипников при помощи масла под давлением.

бочее место монтажника должно быть снабжено специализированным инстру-

ментом и приспособлениями в соответствии с технологией сборки.

В ремонтных мастерских, а также в сборочных цехах мелкосерийного или индивидуального производства, рабочее место монтажника желательно располагать в отдельном помещении, снабженном универсальным монтажно-демонтажным инструментом и приспособлениями, соответствующими характеру работ. Организация такого рабочего места для ремонтных работ необходима в промышленных предприятиях, имеющих внутришлифовальные и алмазно-расточные станки, а также точные приборы и механизмы на подшипниках качения.

ПРОМЫВКА ПОДШИПНИКОВ

Промывка подшипников может производиться бензином, горячим минеральным маслом и эмульсиями-растворителями. Тот или иной способ промывки выбирается в зависимости от размеров и количества одновременно промываемых подшипников, а также от наличия на предприятиях необходимого оборудования.

Промывка бензином. Бензин применяется при промывке малых количеств подшипников небольших размеров и в случае промывки подшипников перед их контролем.

Для этого в бензин Б-70 добавляют 6% легкого минерального масла, например индустриальное 12 или 20 по ГОСТ 1707-51. В эту смесь погружают подшипник и, придерживая его внутреннее кольцо, медленно вращают наружное до полной очистки сепаратора, дорожек и тел качения подшипника от смазки или загрязнения.

При промывке большой партии подшипников необходимо иметь две промывочные ванны: для предварительной и окончательной промывки.

Предварительную промывку подшипников можно производить также керосином.

Использование бензина для промывки подшипников во многих случаях ограничивается по условиям противопожарной безопасности.

Промывка в горячем минеральном масле. Этот способ промывки находит широкое применение на практике и особенно удобен для крупногабаритных подшипников.

Промывка производится в металлических ваннах с электрическим или паровым нагревом, идентичных по конструкции с ваннами для подогрева подшипников перед монтажом (см. фиг. 23).

Более удобной для нагревания подшипников является ванна в виде сдвоенного бака. В наружный бак наливается вода, которая при помощи горелки нагревается до температуры кипения и, в свою очередь, нагревает масло, залитое во внутренний бак.

Подшипники навешивают на металлические крюки и погружают на 5—20 мин. (в зависимости от их размеров) в ванну с чистым минеральным маслом (индустриальное 12), нагретым до 95—100°, и несколько раз встряхивают.

При нагревании подшипников предохранительная смазка расплавляется и стекает в ванну. Сильно загрязненные подшипники рекомендуется промывать в двух ваннах (предварительной и чистовой).

При промывке в масле большого количества мелких подшипников удобно пользоваться кассетами-корзинами, изготовленными из проволочной сетки. Кассету с подшипниками опускают в ванну с горячим маслом и для ускорения промывки встряхивают.

Промывка подшипников в эмульсиях. При больших партиях подшипников, в целях экономии масла и бензина, первичную промывку целесообразно производить в водном 2—2,5%-ном растворе олеино-калиевого или олеино-натриевого мыла при температуре 75—95°, с обязательной последующей промывкой подшипников в горячем масле.

ХРАНЕНИЕ И КОНСЕРВАЦИЯ ПОДШИПНИКОВ

Хранение. Складское помещение, предназначенное для хранения подшипников, должно быть чистым и сухим, изолированным от проникновения в него пыли, влаги, паров, кислот и других летучих веществ, вызывающих коррозию подшипников. Оно должно иметь центральное отопление, вентиляцию и противопожарные средства.

Температура воздуха в складском помещении должна быть постоянной в пределах от + 8 до + 30°.

Хранить подшипники при температуре ниже указанной не рекомендуется, так как сильно охлажденная предохранительная смазка кристаллизуется, в результате чего в ее слое появляются трещины, через которые влага проникает на

поверхности подшипников и вызывает их коррозию.

С другой стороны, температура помещения не должна достигать предела, при котором смазка плавится.

Суточное колебание температуры не должно превышать 5°. Резкие колебания температуры в короткие промежутки времени недопустимы, так как при этом из воздуха и смазки выделяется конденсат, вызывающий коррозию. Относительная влажность воздуха, определяемая при помощи гигрометра типа «Сосюра» или психрометра, не должна превышать 70%.

За режимом хранения должен быть установлен систематический контроль.

Подшипники можно хранить на металлических (более компактных) или деревянных стеллажах. Не следует устанавливать стеллажи вблизи водопроводных или паропроводных труб, приборов отопления, а также вплотную к наружным стенам.

Для хранения мелких подшипников нужны небольшие выдвижные ящики, а для крупных подшипников — полки в нижней части стеллажей.

Склад должен иметь отделения для приемки, хранения и промывки подшипников.

Подшипники с поврежденной упаковкой передаются на промывку и консервацию.

Консервация. Для защиты от коррозии поверхности подшипника покрывают сплошным слоем антикоррозийной смазки. Для консервации применяют пушечную смазку УНЗ (ГОСТ 3005-51) или технический вазелин УН (ГОСТ 782-59).

При соблюдении соответствующих правил консервации и хранения эти смазки надежно предохраняют подшипники от коррозии в течение 12 месяцев.

Необходимо систематически проверять состояние подшипников на складе и через каждые 9—12 месяцев хранения производить их переконсервацию.

Для этого подшипники, промытые одним из описанных способов, перед покрытием предохранительной смазкой промывают в ванне с пушечной смазкой при температуре 110—120° до полного удаления с них влаги. После стекания смазки и частичного охлаждения подшипники переносят в другую ванну, заполненную пушечной смазкой с температурой 60—70° или техническим вазелином с температурой 55—60°. При кратковременном погружении (на 20—30 сек) в эту ванну подшипники покрываются слоем антикоррозийной смазки, после чего их переносят на металлические противни, где они лежат до полного охлаждения.

Охлажденные подшипники завертывают во влагонепроницаемую бумагу и вновь упакованные в картонные коробки укладывают на стеллажи. При переконсервации, транспортировке и упаковке нельзя дотрагиваться до подшипников руками. Их следует брать при помощи чистой промасленной бумаги или крюка.

Глава IX

ТЕОРИЯ РАСЧЕТА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

КИНЕМАТИКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Расчетные формулы для подшипника, показанного на (фиг. 1),

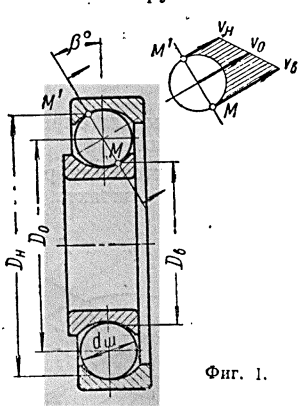
$$D_в = D_0 - d_T \cos\beta;$$

$$D_н = D_0 + d_T \cos\beta$$

при

$$0 \leqslant \beta \leqslant 90°.$$

где $D_в$ — диаметр окружности контакта на дорожке качения внутреннего кольца в *см*; D_0 — диаметр по центрам тел качения в *см*; d_T — диаметр тела качения в *см*; $D_н$ — диаметр окружности контакта на дорожке качения наружного кольца в *см*.



Фиг. 1.

Линейная скорость сепаратора и точек касания колец и шариков:

$$v_0 = \frac{v_в + v_н}{2};$$

$$v_в = \frac{\pi D_в n_в}{60}; \qquad v_н = \frac{\pi D_н n_н}{60},$$

откуда

$$v_0 = \frac{\pi}{120} n_в D_0 \left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right) + \frac{\pi}{120} n_н \times D_0 \left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right)$$

и

$$n_0 = \frac{n_в}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right) + \frac{n_н}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right).$$

Здесь v_0; $v_в$; $v_н$ — линейные скорости сепаратора и точек касания с внутренним и наружным кольцами в *м/сек*; n_0; $n_н$; n_0 — числа оборотов, соответственно внутреннего, наружного колец и сепаратора; β — угол контакта.

Число оборотов сепаратора в минуту (или комплекта тел качения) относительно внутреннего кольца

$$n_{0в} = n_0 - n_в = \frac{n_н - n_в}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right).$$

Число оборотов в минуту наружного кольца относительно сепаратора

$$n_{н.\,0} = n_н - n_0 = \frac{n_н - n_в}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right).$$

Число оборотов n_T тела качения относительно собственной оси

$$n_T = \frac{D_в}{d_T} n_{0в} \quad \text{или} \quad n_T = \frac{D_н}{d_T} n_{н.0},$$

откуда

$$n_T = \frac{n_н - n_в}{2}\left(\frac{D_0}{d_T} - \frac{d_T}{D_0}\cos^2\beta\right).$$

Практически встречающиеся частные случаи;

при $n_н = 0$ и $n_в = n$ получим

$$n_0 = \frac{n}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right);$$

$$n_{0.в} = -\frac{n}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right);$$

$$n_T = -\frac{n}{2}\left(\frac{D_0}{d_T} - \frac{d_T}{D_0}\cos^2\beta\right);$$

$$n_{н.\,0} = -\frac{n}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right).$$

при $n_в = 0$ и $n_н = n$ получим

$$n_0 = \frac{n}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right);$$

$$n_{0.в} = \frac{n}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right);$$

$$n_{н.0} = \frac{n}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right);$$

$$n_T = \frac{n}{2}\left(\frac{D_0}{d_T} - \frac{d_T}{D_0}\cos^2\beta\right).$$

Число тел качения, проходящих через точки M и M', в единицу времени составит, соответственно, $zn_{0.\,в}$ и $zn_{н.\,0}$.

Число повторных контактных нагружений $i_в$ и $i_н$ — внутреннего и наружного колец — определяются соответственно по формулам:

при вращающемся внутреннем кольце

$$i_в = \frac{n_в}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right) z\,\frac{\varphi}{360°};$$

$$i_н = \frac{n_в}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right) z;$$

при вращающемся наружном кольце

$$i_в = \frac{n_н}{2}\left(1 + \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right) z;$$

$$i_н = \frac{n_н}{2}\left(1 - \frac{d_T}{D_0}\cos\beta\right) z\,\frac{\varphi}{360°},$$

где φ — угол нагруженной зоны подшипника.

НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В МЕСТАХ КОНТАКТА

При сжатии упругих тел в пределах зоны упругих деформаций напряжения и деформации в местах контакта подсчитываются по формулам Герца. В случае перехода напряжения сжатия в зону упруго-пластических деформаций расчет не действителен и такое состояние недопустимо. Расчеты производятся исходя из следующих условий:

1) площадки контакта весьма малы по сравнению с поверхностями соприкасающихся тел;

2) материалы соприкасающихся тел однородны и изотропны, модули упругости E в $кГ/см^2$ и коэффициенты Пуансона m одинаковы;

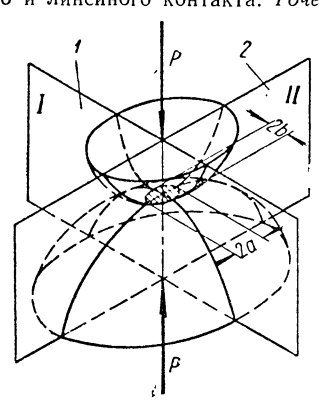
3) силы давления нормальны к поверхностям соприкасающихся тел;

4) при контакте не превзойден предел пропорциональности.

Для подшипников качения перечисленные условия выполняются не полностью: подшипниковая сталь имеет определенную засоренность неметаллическими включениями; строго говоря, нельзя считать контактирующие поверхности абсолютно гладкими; даже при сравнительно невысоких контактных напряжениях $\sigma_{max} \sim 20\,000\ кГ/см^2$ отмечаются (хотя и незначительные) пластические деформации в местах контакта. Необходимо также иметь в виду, что в ряде случаев нельзя считать размеры площадок контакта малыми по сравнению с поверхностями соприкасающихся тел, например шариков в шарикоподшипниках. Однако экспериментальная проверка приведенных ниже формул показала достаточно хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных.

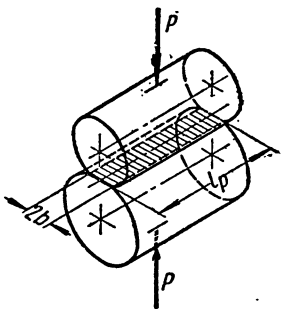
Расчетные формулы для определения напряжений

Формулы приводятся для расчета точечного и линейного контакта. *Точечным*



Фиг. 2. Точечный контакт двух упругих тел: *1* — главная плоскость кривизны I; *2* — главная плоскость кривизны II.

контактом называется общий случай касания, когда при отсутствии внешней прижимающей силы P соприкасание тел происходит в одной точке (фиг. 2), а *ли-*

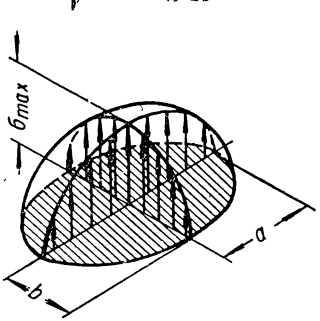


Фиг. 3. Линейный контакт двух цилиндров.

нейным контактом — случай, когда при тех же условиях соприкосновение происходит по линии (фиг. 3).

1) **Точечное касание** (фиг. 4). Большая полуось эллиптической площадки соприкасания

$$a = \mu \sqrt[3]{\frac{3(1-m^{-2})}{E\,\Sigma\rho}\,P} \text{ см};$$



Фиг. 4. Распределение напряжений смятия по эллиптической площадке контакта.

малая полуось

$$b = \nu \sqrt[3]{\frac{3(1-m^{-2})}{E\,\Sigma\rho}\,P} \text{ см}.$$

Площадь эллиптической площадки соприкасания

$$S = \pi ab = \pi\mu\nu \sqrt[3]{\left[\frac{3(1-m^{-2})}{E\,\Sigma\rho}\,P\right]^2} \text{ см}^2.$$

Наибольшее напряжение σ_{max} в центре площадки соприкасания

$$\sigma_{max} = \frac{3}{2}\frac{P}{\pi ab} = \frac{1{,}5}{\pi\mu}\sqrt[3]{\left[\frac{E\Sigma\rho}{3(1-m^{-2})}\right]^2}\,P.$$

Сближение соприкасающихся тел. Под сближением δ понимается величина, на которую уменьшается расстояние между двумя точками соприкасающихся тел, расположенными на прямой, параллельной линии действия силы P, на достаточном расстоянии от места касания. Так, например, в случае соприкасания шарика с желобом внутреннего кольца за величину δ можно принять приближение центра шарика к начальному положению геометрической оси подшипника, а при соприкасании того же шарика с наружным кольцом, наоборот, величину, на которую центр шарика удаляется от начального положения геометрической оси подшипника. Сближение определяют по формулам:

$$\delta = 1{,}5\frac{2K}{\pi}\frac{(1-m^{-2})}{Ea}P$$

или

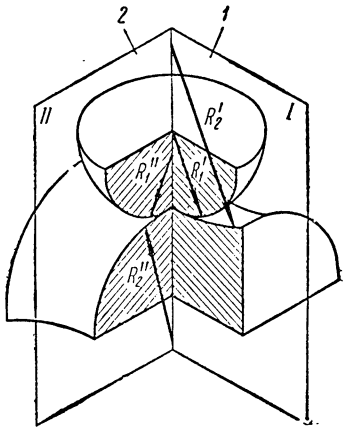
$$\delta = 1{,}5\frac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{\frac{1}{3}\left[\frac{1-m^{-2}}{E}P\right]^2\Sigma\rho}.$$

В формулах для определения напряжений:

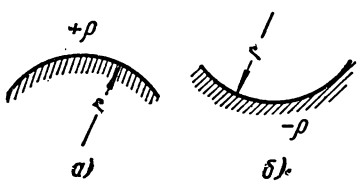
P — сила, с которой оба тела прижаты друг к другу.

$$\Sigma\rho = \rho_1' + \rho_1'' + \rho_2' + \rho_2''.$$

Здесь ρ_1'; ρ_1''; ρ_2'; и ρ_2'' — главные кривизны соприкасающихся тел, причем нижний индекс указывает, к какому телу относится данная кривизна, а верхний — в какой главной плоскости она измеряется (фиг. 5); кривизна ρ положительна при выпуклом профиле поверхности в соответствующем сечении (фиг. 6, *а*) и отрицательна при вогнутом профиле (фиг. 6, *б*).



Фиг. 5. Контакт тел произвольной кривизны: *I* — главная плоскость кривизны *I*; *2* — главная плоскость кривизны *II*.



Фиг. 6. Знаки кривизны.

Введем условно величины:

$$A = \frac{1}{2}(\rho_1' + \rho_2'),$$

$$B = \frac{1}{2}(\rho_1'' + \rho_2''),$$

$$\cos\tau = \frac{B - A}{B + A},$$

где

$$B > A.$$

Под B подразумевается бо́льшая из величин, так что если

$$(\rho_1' + \rho_2') > (\rho_1'' + \rho_2''),$$

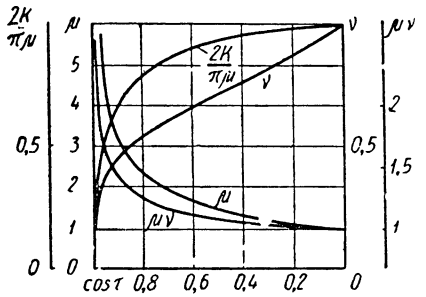
получим

$$A = \frac{1}{2}(\rho_1'' + \rho_2'')$$

и

$$B = \frac{1}{2}(\rho_1' + \rho_2').$$

Значения A, B и $\cos\tau$ для некоторых случаев соприкасания могут быть вычислены по формулам, приведенным в табл. 1. μ, ν и $\frac{2K}{\pi\mu}$ — коэффициенты, входящие в формулы и характеризующие распределение давлений на контактных поверхностях и размеры площадки контакта — могут быть определены по диаграмме на фиг. 7 или по табл. 2 [1].



Фиг. 7. Зависимость коэффициентов μ, ν, $\frac{2K}{\pi\mu}$, а также $\mu\cdot\nu$ от $\cos\tau$.

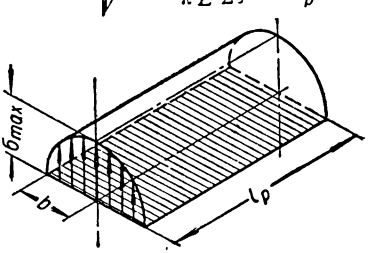
$$K = \int_0^\infty \frac{dz}{\sqrt{(1 + k^2z^2)(1 + z^2)}}$$ —

эллиптический интеграл.

Здесь z — текущая координата полуэллипсоида напряжений; $k = \frac{b}{a}$ — отношение малой и большой полуосей эллипса.

2) **Линейное касание**. Половина ширины площадки соприкасания (фиг. 8)

$$b = \sqrt{\frac{8(1 - m^{-2})}{\pi E \Sigma_\rho} \cdot \frac{P}{l_p}}.$$

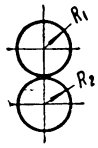
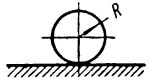
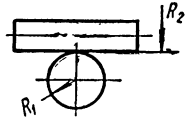
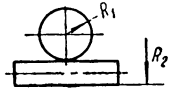
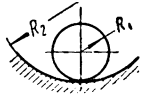


Фиг. 8. Распределение напряжений смятия по линейной площадке контакта двух цилиндров.

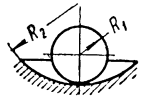
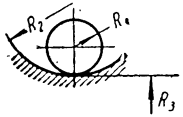
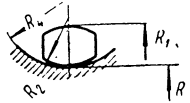
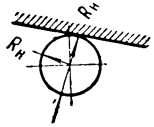
Площадь соприкасания

$$S = 2bl_p = \sqrt{\frac{32(1 - m^{-2})\, l_p \cdot P}{\pi E \Sigma_\rho}}.$$

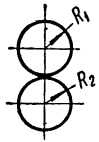
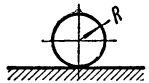
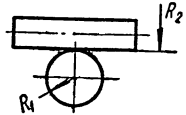
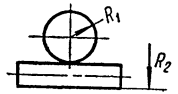
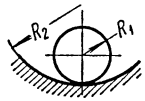
1. Расчетные формулы для основных случаев контакта упругих тел

Наименование соприкасающихся поверхностей	A	B	$\cos\tau = \frac{B-A}{B+A}$	σ_{max}
Два шара радиусами R_1 и R_2 	$\frac{R_1+R_2}{2R_1R_2}$	$\frac{R_1+R_2}{2R_1R_2}$	0	$6400\sqrt[3]{4P\left(\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}\right)^2}$
Шар радиусом R и плоскость 	$\frac{1}{2R}$	$\frac{1}{2R}$	0	$6400\sqrt[3]{\frac{P}{R_3}}$
Два цилиндра накрест с радиусом R_1 и R_2, $R_1>R_2$ 	$\frac{1}{2R_1}$	$\frac{1}{2R_2}$	$\frac{R_1-R_2}{2R_1R_2}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P\left(\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}\right)^2}$
Шар радиусом R_1 и цилиндр радиусом R_2, $R_2<R_1$ 	$\frac{1}{2R_1}$	$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$	$\frac{R_1}{2R_2+R_1}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P\left(\frac{R_1+2R_2}{R_1R_2}\right)^2}$
Шар радиусом R_1 и цилиндрический желоб радиусом R_2, $R_2>R_1$ 	$\frac{R_2-R_1}{2R_1R_2}$	$\frac{1}{2R_1}$	$\frac{R_1}{2R_2-R_1}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P\left(\frac{2R_2-R_1}{R_1R_2}\right)^2}$

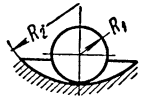
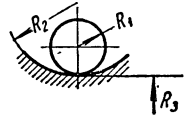
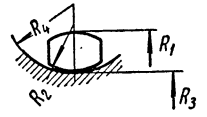
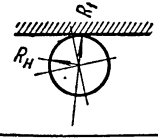
Продолжение табл. 1

Наименование соприкасающихся поверхностей	A	B	$\cos\tau = \frac{B-A}{B+A}$	σ_{max}
Шар радиусом R_1 и вогнутая шаровая поверхность радиусом R_2, $R_2 > R_1$ 	$\frac{R_2 - R_1}{2R_1R_2}$	$\frac{R_2 - R_1}{2R_1R_2}$	0	$4000\sqrt[3]{P\left(\frac{R_2 - R_1}{R_1R_2}\right)^2}$
Шар радиусом R_1 и поверхность вращения с радиусами R_2 и R_3, $R_3 > R_1$ 	$\frac{R_2 - R_1}{2R_1R_2}$	$\frac{R_1 + R_2}{2R_1R_2}$	$\frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1R_2 + R_3(2R_2 - R_1)}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P\left(\frac{R_1(R_2 - R_3) + 2R_2R_3}{R_1R_2R_3}\right)^2}$
Поверхности вращения с радиусами R_1, R_2 и R_3, R_4, $R_2 > R_1$ и $R_4 > R_3$ 	$\frac{R_4 - R_2}{2R_2R_4}$	$\frac{R_1 + R_3}{2R_1R_3}$	$\frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4}}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4}\right)^2}$
Шар радиусом R_1 и внутренняя коническая поверхность 	$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_H}\right)$	$\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{R_1}$	$\frac{R_1}{2R_H - R_1}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P\left(\frac{2R_H - R_1}{R_HR_1}\right)^2}$

Продолжение табл. 1

Наименование соприкасающихся поверхностей	a в $см$	b в $см$	δ в $см$
Два шара радиусами R_1 и R_2 	$0{,}0109\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}$	$0{,}0109\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}$	$75\cdot10^{-6}\sqrt[3]{P^2\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}}$
Шар радиусом R и плоскость 	$0{,}0109\sqrt[3]{PR}$	$0{,}0109\sqrt[3]{RP}$	$75\cdot10^{-6}\sqrt[3]{\frac{P^2}{R}}$
Два цилиндра накрест с радиусами R_1 и R_2, $R_1>R_2$ 	$0{,}0109\,\mu\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}$	$0{,}0109\,\nu\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2\frac{R_1-R_2}{R_1R_2}}$
Шар радиусом R_1 и цилиндр радиусом R_2, $R_2<R_1$ 	$0{,}0109\,\mu\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_1+2R_2}}$	$0{,}0109\,\nu\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{2R_2+R_1}}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2\frac{R_1+2R_2}{R_1R_2}}$
Шар радиусом R_1 и цилиндрический желоб радиусом R_2, $R_2>R_1$ 	$0{,}0109\,\mu\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{2R_2-R_1}}$	$0{,}0109\,\nu\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{2R_2-R_1}}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2\frac{2R_2-R_1}{R_1R_2}}$

Продолжение табл. 1

Наименование соприкасающихся поверхностей	a в *см*	b в *см*	δ в *см*
Шар радиусом R_1 и вогнутая шаровая поверхность радиусом R_2, $R_2 > R_1$ 	$0{,}0109\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_2-R_1}}$	$0{,}0109\sqrt[3]{P\frac{R_1R_2}{R_2-P_1}}$	$75\cdot10^{-6}\sqrt[3]{P^2\frac{R_2-R_1}{R_1R_2}}$
Шар радиусом R_1 и поверхность вращения с радиусами R_2 и R_3, $R_3 > R_1$ 	$0{,}0109\mu\sqrt[3]{\frac{R_1R_2R_3}{R_1R_2+R_3(2R_2-R_1)}}$	$0{,}0109\nu\sqrt[3]{\frac{R_1R_2R_3}{R_1R_2+R_3(2R_3-R_1)}}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\times$ $\times\sqrt[3]{P^2\frac{R_1R_2+R_3(2R_2-R_3)}{R_1R_2R_3}}$
Поверхности вращения с радиусами R_1, R_2 и R_3, R_4, $R_3 > R_1$ и $R_4 > R_3$ 	$0{,}0109\mu\sqrt[3]{P\frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}}}$	$0{,}0109\nu\sqrt[3]{R\frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}}}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\times$ $\times\sqrt[3]{P^2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}-\frac{1}{R_H}\right)}$
Шар радиусом и внутренняя коническая поверхность 	$0{,}0109\mu\sqrt[3]{\frac{PR_1R_H}{2R_H-R_1}}$	$0{,}0109\nu\sqrt[3]{\frac{PR_1R_H}{2R_H-R_1}}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\times$ $\times\sqrt[3]{P^2\frac{2R_H-R_1}{R_HR_1}}$

Примечание. Постоянные коэффициенты в формулах для a, b, σ_{max} и δ даны при условии соприкасания тел из одного материала с $E = 2{,}1\cdot10^6$ *кГ/см*^{2} и $m = 3$. В случае различных материалов необходимо ввести поправочный коэффициент, определяемый по формуле табл. 3.

2. Значения μ, ν, $\mu\nu$ и $\frac{2K}{\pi\mu}$ в зависимости от $\cos\tau$

$\cos\tau$	μ	ν	$\mu\nu$	$\frac{2K}{\pi\mu}$	$\cos\tau$	μ	ν	$\mu\nu$	$\frac{2K}{\pi\mu}$
0,9995	23,95	0,163	3,91	0,171	0,969	4,98	0,359	1,79	0,513
0,9990	18,53	0,185	3,43	0,207	0,968	4,92	0,361	1,78	0,518
0,9985	15,77	0,201	3,17	0,230	0,967	4,86	0,363	1,77	0,522
0,9980	14,25	0,212	3,02	0,249	0,966	4,81	0,365	1,76	0,526
0,9975	13,15	0,220	2,89	0,266	0,965	4,76	0,367	1,75	0,530
0,9970	12,26	0,228	2,80	0,279	0,964	4,70	0,369	1,74	0,533
0,9965	11,58	0,235	2,72	0,291	0,963	4,65	0,371	1,73	0,536
0,9960	11,02	0,241	2,65	0,302	0,962	4,61	0,374	1,72	0,540
0,9955	10,53	0,246	2,59	0,311	0,961	4,56	0,376	1,71	0,543
0,9950	10,15	0,251	2,54	0,320	0,960	4,51	0,378	1,70	0,546
0,9945	9,77	0,256	2,50	0,328	0,959	4,47	0,380	1,70	0,550
0,9940	9,46	0,260	2,46	0,336	0,858	4,42	0,382	1,69	0,553
0,9935	9,17	0,264	2,42	0,343	0,957	4,38	0,384	1,68	0,556
0,9930	8,92	0,268	2,39	0,350	0,956	4,34	0,386	1,67	0,559
0,9925	8,68	0,271	2,36	0,356	0,955	4,30	0,388	1,67	0,562
0,9920	8,47	0,275	2,33	0,362	0,954	4,26	0,390	1,66	0,565
0,9915	8,27	0,278	2,30	0,368	0,953	4,22	0,391	1,65	0,568
0,9910	8,10	0,281	2,28	0,373	0,952	4,19	0,393	1,65	0,571
0,9905	7,93	0,284	2,25	0,379	0,950	4,15	0,394	1,64	0,574
0,9900	7,76	0,287	2,23	0,384	0,950	4,12	0,396	1,63	0,577
0,9895	7,62	0,289	2,21	0,388	0,948	4,05	0,399	1,62	0,583
0,9890	7,49	0,292	2,19	0,393	0,946	3,99	0,403	1,61	0,588
0,9885	7,37	0,294	2,17	0,398	0,944	3,94	0,406	1,60	0,593
0,9880	7,25	0,297	2,15	0,402	0,942	3,88	0,409	1,59	0,598
0,9875	7,13	0,299	2,13	0,407	0,940	3,83	0,412	1,58	0,603
0,9870	7,02	0,301	2,11	0,411	0,938	3,78	0,415	1,57	0,608
0,9865	6,93	0,303	2,10	0,416	0,936	3,73	0,418	1,56	0,613
0,9860	6,84	0,305	2,09	0,420	0,934	3,68	0,420	1,55	0,618
0,9855	6,74	0,307	2,07	0,423	0,832	3,63	0,423	1,54	0,622
0,9850	6,64	0,310	2,06	0,427	0,930	3,59	0,426	1,53	0,626
0,9845	6,55	0,312	2,04	0,430	0,928	3,55	0,428	1,52	0,630
0,9840	6,47	0,314	2,03	0,433	0,926	3,51	0,431	1,51	0,634
0,9835	6,40	0,316	2,02	0,437	0,924	3,47	0,433	1,50	0,638
0,9830	6,33	0,317	2,01	0,440	0,922	3,43	0,436	1,50	0,642
0,9825	6,26	0,319	2,00	0,444	0,920	3,40	0,438	1,49	0,646
0,9820	6,19	0,321	1,99	0,447	0,918	3,36	0,441	1,48	0,650
0,9815	6,12	0,323	1,98	0,450	0,916	3,33	0,443	1,47	0,653
0,9810	6,06	0,325	1,97	0,453	0,914	3,30	0,445	1,47	0,657
0,9805	6,00	0,327	1,96	0,456	0,912	3,27	0,448	1,46	0,660
0,9800	5,94	0,328	1,95	0,459	0,910	3,23	0,450	1,45	0,664
0,9795	5,89	0,330	1,94	0,462	0,908	3,20	0,452	1,45	0,667
0,9790	5,83	0,332	1,93	0,465	0,906	3,17	0,454	1,44	0,671
0,9785	5,78	0,333	1,92	0,468	0,904	3,15	0,456	1,44	0,674
0,9780	5,72	0,335	1,92	0,470	0,902	3,12	0,459	1,43	0,677
0,9775	5,67	0,336	1,91	0,473	0,900	3,09	0,461	1,42	0,680
0,9770	5,63	0,338	1,90	0,476	0,895	3,03	0,466	1,41	0,688
0,9765	5,58	0,339	1,89	0,478	0,890	2,97	0,471	1,40	0,695
0,9760	5,53	0,340	1,88	0,481	0,885	2,92	0,476	1,39	0,702
0,9755	5,49	0,342	1,88	0,483	0,880	2,86	0,481	1,38	0,709
0,9750	5,44	0,343	1,87	0,486	0,875	2,82	0,485	1,37	0,715
0,9745	5,39	0,345	1,86	0,489	0,870	2,77	0,490	1,36	0,721
0,9740	5,35	0,346	1,85	0,491	0,865	2,72	0,494	1,35	0,727
0,9735	5,32	0,347	1,85	0,493	0,860	2,68	0,498	1,34	0,733
0,9730	5,28	0,349	1,84	0,495	0,855	2,64	0,502	1,33	0,739
0,9725	5,24	0,350	1,83	0,498	0,850	2,60	0,507	1,32	0,745
0,9720	5,20	0,351	1,83	0,500	0,84	2,53	0,515	1,30	0,755
0,9715	5,16	0,353	1,82	0,502	0,83	2,46	0,523	1,29	0,765
0,9710	5,13	0,354	1,81	0,505	0,82	2,40	0,530	1,27	0,774
0,9705	5,09	0,355	1,81	0,507	0,81	2,35	0,537	1,26	0,783
0,9700	5,05	0,357	1,80	0,509	0,80	2,30	0,544	1,25	0,792

Продолжение табл. 2

cos τ	μ	ν	μν	$\frac{2K}{\pi\mu}$	cos τ	μ	ν	μν	$\frac{2K}{\pi\mu}$
0,75	2,07	0,577	1,20	0,829	0,971	1,19	0,850	1,01	0,986
0,70	1,91	0,607	1,16	0,859	0,979	1,15	0,879	1,01	0,991
0,65	1,77	0,637	1,13	0,884	0,25	1,11	0,908	1,01	0,994
0,60	1,66	0,664	1,10	0,904	0,20	1,07	0,938	1,00	0,997
0,55	1,57	0,690	1,08	0,922	0,15	1,03	0,969	1,00	0,999
0,50	1,48	0,718	1,06	0,938	0,10	1	1	1	1
0,45	1,41	0,745	1,05	0,951	0,05				
0,40	1,35	0,771	1,04	0,962	0				
0,35	1,29	0,796	1,03						
0,30	1,24	0,824	1,02						

Наибольшее контактное напряжение

$$\sigma_{max} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{S}$$

или

$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{E}{\pi (1 - m^{-2})} \frac{\Sigma\rho\, P}{2 l_p}},$$

где

$\Sigma\rho = \rho_1' + \rho_2'$; l_p — длина образующей.

Последняя формула справедлива лишь для бесконечно длинных цилиндров, у которых нагрузка равномерно распределена по образующим цилиндров.

Общее сближение цилиндров, включающее общую их деформацию и деформацию в местах контакта, определяется по эмпирической формуле

$$\delta = \frac{1}{10^2 \sqrt[3]{d_p' l_p}} \cdot P.$$

Формулы без существенных ошибок могут быть применены для случая касания конических тел при небольших углах конусности. Кроме того, последняя формула, полученная для случая касания цилиндра с плоскостью, с достаточной для практики точностью может быть распространена на другие виды линейного касания, встречающиеся в подшипникостроении.

3) **Точечное касание стальных тел.** Приняв $E = 2{,}1 \cdot 10^6$ *кГ/см*^{2} и $m = 3$, получим для рассмотренных случаев следующие формулы:

Большая ось эллиптической площадки соприкасания

$$a = 0{,}0109\, \mu \sqrt[3]{\frac{P}{\Sigma\rho}}\ см.$$

Малая ось эллиптической площадки соприкасания

$$b = 0{,}0109\, \nu \sqrt[3]{\frac{P}{\Sigma\rho}}\ см.$$

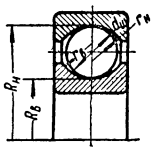
Наибольшее контактное давление (напряжение смятия на площадке контакта)

$$\sigma_{max} = \frac{4000}{\mu\nu} \sqrt[3]{(\Sigma\rho)^2 P}\ кГ/см^2.$$

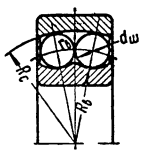
3. Поправочные коэффициенты к формулам Герца, учитывающие упругие свойства материалов

Случай контакта	Определяемый параметр	Обозначение	Поправочный коэффициент
Точечное касание	Большая ось эллиптической площадки соприкасания	$2a$	$W^{1/3}$
	Малая ось эллиптической площадки соприкасания	$2b$	$W^{1/3}$
	Наибольшее контактное напряжение смятия	σ_{max}	$W^{2/3}$
	Сближение в месте контакта	δ	$W^{-2/3}$
Линейное касание	Ширина прямоугольной площадки соприкасания	$2b$	$W^{1/2}$
	Наибольшее контактное напряжение снятия	σ_{max}	$W^{1/2}$
	Сближение в месте касания	δ	W

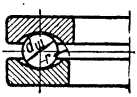
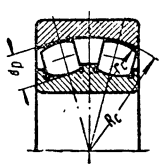
4. Формулы для определения величин, a, b, δ_{max}, δ и $\cos\tau$

Тип подшипника	Расчетные параметры	Шарик соприкасается с внутренним кольцом	Шарик соприкасается с наружным кольцом
Однорядный, радиальный шарикоподшипник 	$\cos\tau$	$\dfrac{\frac{1}{R_в}+\frac{1}{r_в}}{\frac{4}{d_ш}+\frac{1}{R_в}-\frac{1}{r_в}}$	$\dfrac{\frac{1}{R_н}+\frac{1}{r_н}}{\frac{4}{d_ш}-\frac{1}{R_н}-\frac{1}{r_н}}$
	$\Sigma\rho$	$\frac{4}{d_ш}+\frac{1}{R_в}-\frac{1}{r_в}$	$\frac{4}{d_ш}-\frac{1}{R_н}-\frac{1}{r_н}$
	a	$0{,}0109\,\mu\sqrt[3]{\frac{P}{\Sigma\rho_в}}$	$0{,}0109\,\mu\sqrt[3]{\frac{P}{\Sigma\rho_н}}$
	b	$0{,}0109\,\nu\sqrt[3]{\frac{P}{\Sigma\rho_в}}$	$0{,}0109\,\nu\sqrt[3]{\frac{P}{\Sigma\rho_н}}$
	σ_{max}	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P(\Sigma\rho_в)^2}$	$\frac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P(\Sigma\rho_н)^2}$
	δ	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P(\Sigma\rho_в)}$	$523\cdot10^{-7}\frac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2(\Sigma\rho_н)}$
	Приближенные формулы для расчета стандартных подшипников		
	a	$0{,}0303\sqrt[3]{Pd_ш}$	$0{,}0293\sqrt[3]{Pd_ш}$
	b	$0{,}0031\sqrt[3]{Pd_ш}$	$0{,}0041\sqrt[3]{Pd_ш}$
	σ_{max}	$4880\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$	$3900\sqrt[3]{\frac{P}{d_ш^2}}$
	$\delta_{сум}$	$98\cdot10^{-6}\sqrt[3]{\frac{P^2}{d_ш}}$	

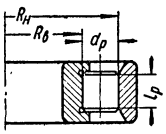
Продолжение табл. 4

Тип подшипника	Расчетные параметры	Шарик соприкасается с внутренним кольцом	Шарик соприкасается с наружным кольцом
Двухрядный сферический шарикоподшипник 	$\cos\tau$	$\dfrac{\frac{1}{R_в}+\frac{1}{r_в}}{\frac{4}{d_ш}+\frac{1}{R_в}-\frac{1}{r_в}}$	0
	$\Sigma\rho$	$\dfrac{4}{d_ш}+\dfrac{1}{R_в}-\dfrac{1}{r_в}$	$\dfrac{4}{d_ш}-\dfrac{2}{R_c}$
	a	$0{,}0109\mu\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho_в}}$	$0{,}0109\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho_н}}$
	b	$0{,}0109\nu\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho_в}}$	$0{,}0109\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho_н}}$
	σ_{max}	$\dfrac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P(\Sigma\rho_в)^2}$	$4000\sqrt[3]{P(\Sigma\rho_н)^2}$
	δ	$523\cdot10^{-7}\dfrac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2\Sigma\rho_в}$	$523\cdot10^{-7}\sqrt[3]{P^2\Sigma\rho_н}$
	Приближенные формулы для расчета стандартных подшипников		
	a	$0{,}0232\sqrt[3]{Pd_ш}$	$0{,}0073\sqrt[3]{Pd_ш}$
	b	$0{,}0038\sqrt[3]{Pd_ш}$	$0{,}0073\sqrt[3]{Pd_ш}$
	σ_{max}	$5270\sqrt[3]{\dfrac{P}{d_ш^2}}$	$9800\sqrt[3]{\dfrac{P}{d_ш^2}}$
	$\delta_{сум}$	$1460\cdot10^{-7}\sqrt[3]{\dfrac{P^3}{d_ш}}$	

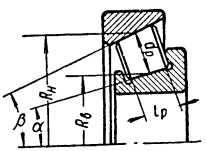
Продолжение табл. 4

Тип подшипника	Расчетные параметры	Формулы в общем виде	Формулы для расчета стандартных подшипников
Упорный шарикоподшипник 	$\cos\tau$	$\dfrac{\frac{1}{r}}{\frac{4}{d_ш}-\frac{1}{r}}$	–
	$\Sigma\rho$	$\dfrac{4}{d_ш}-\dfrac{1}{r}$	–
	a	$0{,}0109\mu\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho}}$	$0{,}0228\sqrt[3]{Pd_ш}$
	b	$0{,}0109\nu\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho}}$	$0{,}0042\sqrt[3]{Pd_ш}$
	σ_{max}	$\dfrac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P(\Sigma\rho)^2}$	$4980\sqrt[3]{\dfrac{P}{d_ш^2}}$
	δ	$523\cdot10^{-7}\dfrac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2\Sigma\rho}$	$523\cdot10^{-7}\sqrt[3]{\dfrac{P^2}{d_ш}}$
	Суммарное сближение колец		
	$\delta_{сум}$	$1192\cdot10^{-7}\dfrac{2K}{\pi\mu}\sqrt[3]{P^2\Sigma\rho}$	$1120\cdot10^{-7}\sqrt[3]{\dfrac{P^2}{d_ш}}$
Сферический двухрядный роликоподшипник 	$\cos\tau_н$	$\dfrac{\frac{2}{d_p}-\frac{1}{r_p}}{\frac{2}{d_p}+\frac{1}{r_p}-\frac{2}{R_c}}$	–
	$\Sigma\rho_н$	$\dfrac{2}{d_p}+\dfrac{1}{r_p}-\dfrac{2}{R_c}$	–
	a	$0{,}0109\mu\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho_н}}$	$0{,}0595\sqrt[3]{Pd_p}$
	b	$0{,}0109\nu\sqrt[3]{\dfrac{P}{\Sigma\rho_н}}$	$0{,}0028\sqrt[3]{Pd_p}$
	σ_{max}	$\dfrac{4000}{\mu\nu}\sqrt[3]{P(\Sigma\rho_н)^2}$	$2810\sqrt[3]{\dfrac{P}{d_p^2}}$

Продолжение табл. 4

Тип подшипника	Расчетные параметры	Формулы в общем виде	Формулы для расчета стандартных подшипников
	δ	$523 \cdot 10^{-7} \frac{2K}{\pi_{,\mu}} \sqrt[3]{P^2 \Sigma\rho_н}$	$306 \cdot 10^{-7} \sqrt[3]{\frac{P^2}{d_p}}$
Роликоподшипник с короткими цилиндрическими роликами 	$\Sigma\rho$	$\frac{2}{d_p} + \frac{1}{R_в}$	$\frac{2}{d_p} - \frac{1}{R_н}$
	b	$105 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{P}{l_p} \Sigma\rho_в}$	$105 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{P}{l_p} \Sigma\rho_н}$
	σ_{max}	$606 \sqrt{\frac{P}{l_p} \Sigma\rho_в}$	$606 \sqrt{\frac{P}{l_p} \Sigma\rho_н}$
	δ	$\frac{1}{10^2 \sqrt{d_p} l_p} P$	$\frac{1}{10^3 \sqrt{d_p} l_p} P$
	Приближенные формулы для расчета стандартных подшипников		
	b	$0{,}0676 \sqrt{\frac{P d_p}{l_p}}$	$0{,}0808 \sqrt{\frac{P d_p}{l_p}}$
	σ_{max}	$950 \sqrt{\frac{P}{l_p d_p}}$	$790 \sqrt{\frac{P}{l_p d_p}}$
	$\delta_{сум}$	$\frac{2}{10^3 \sqrt{d} l_p} P$	

Продолжение табл. 4

Тип подшипника	Расчетные параметры	Формулы в общем виде	Формулы для расчета стандартных подшипников
Конический роликоподшипник 	$\Sigma\rho$	$\frac{2}{d_p}+\frac{R_в}{\cos\beta}$	$\frac{2}{d_p}-\frac{R_н}{\cos\beta}$
	b	$105\cdot10^{-5}\sqrt{\frac{P}{l_p}\Sigma\rho_в}$	$105\cdot10^{-5}\sqrt{\frac{P}{l_p}\Sigma\rho_н}$
	$\sigma\max$	$606\sqrt{\frac{P}{l_p}\Sigma\rho_в}$	$606\sqrt{\frac{P}{l_p}\Sigma\rho_н}$
	δ	$\frac{1}{10^2\sqrt{d}\,l_p}P$	$\frac{1}{10^2\sqrt{d}\,l_p}P$
	Приближенные формулы для расчета стандартных подшипников		
	b	$0{,}0676\sqrt{\frac{P\,d_p}{l_p}}$	$0{,}0808\sqrt{\frac{Pd_p}{l_p}}$
	$\sigma\max$	$950\sqrt{\frac{P}{l_p d_p}}$	$790\sqrt{\frac{P}{l_p d_p}}$
	$\delta_{сум}$	$\frac{2}{10^2\sqrt{d_p}l_p}P$	

Обозначения: d_p — средний диаметр ролика;
l_p — длина образующей ролика.

Сближение двух соприкасающихся тел

$$\delta = 523 \cdot 10^{-7} \frac{2K}{\pi\mu} \sqrt[3]{\Sigma\rho\, P^2}\ см.$$

Коэффициенты μ, ν, $\mu\nu$ и $\frac{2K}{\pi\mu}$ определяются по диаграмме, представленной на фиг. 7, или по табл. 2.

4) **Линейное касание стальных тел.** Приняв $E = 2{,}1\ 10^6\ кГ/см^2$ и $m = 3$, получим следующие формулы:

Ширина прямоугольной площадки контакта

$$2b = 2{,}10 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{P}{l_p \Sigma\rho}}\ см.$$

Наибольшее контактное напряжение смятия

$$\sigma_{max} = 606 \sqrt{\frac{P}{l_p} \Sigma\rho}\ кГ/см^2.$$

Сближение соприкасающихся тел

$$\delta = \frac{1}{10^2 \sqrt[3]{d_p l_p}} P\ см.$$

Для случая касания тел с различными упругими свойствами материалов необходимо в приведенные формулы ввести поправочный коэффициент

$$W = \frac{1}{2} \frac{E}{1 - m^{-2}} \left[\frac{1 - m_1^{-2}}{E_1} + \frac{1 - m_2^{-2}}{E_2} \right]$$

где m_1, m_2, E_1, E_2 — соответственно коэффициенты Пуассона и модули упругости соприкасающихся тел, а m и E — те же величины для стали ($m = 3$; $E = 2{,}1 \cdot 10^6\ кГ/см^2$).

Величины поправочных коэффициетов для отдельных параметров даны в табл. 3.

В табл. 4. даны расчетные формулы для определения величин a, b, σ_{max}, δ и $\cos\tau$ для наиболее распространенных типов подшипников качения.

Там же приведенные приближенные формулы для определения тех же величин для стандартных подшипников.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЬШЕЙ НАГРУЗКИ НА ТЕЛО КАЧЕНИЯ

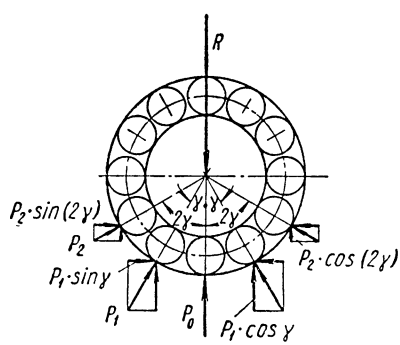
Определение давления на каждое тело качения при заданной по величине и направлению внешней нагрузке, приложенной к подшипнику, представляет собой статически неопределимую задачу. Для ее решения обычно исходят из заданного закона изменения деформаций в местах контакта и приведенных выше формул для вычисления сближений соприкасающихся тел.

Радиальный шарикоподшипник

Сила, действующая на наиболее нагруженный шарик (фиг. 9) [2],

$$P_0 = \frac{R}{1 + 2\cos^{5/2}\gamma + 2\cos^{5/2} 2\gamma + \frac{R}{\ldots + 2\cos^{5/2} n\gamma}},$$

где γ — угловое расстояние между двумя смежными телами качения.



Фиг. 9. Распределение внешней нагрузки между шариками радиального подшипника без зазора.

Расчеты показывают, что при обычно встречающихся числах шариков z

$$P_0 = \frac{4{,}37\,R}{z}.$$

При наличии в подшипнике положительного или отрицательного зазора (натяга) коэффициент при R в последней формуле изменяется. При положительных зазорах можно принять

$$P_0 = \frac{5R}{z}.$$

Для случая, когда наиболее нагруженный шарик в подшипнике без зазора расположен под углом ψ к направлению R, будем иметь

$$P_\psi = K_\psi \cdot \frac{R}{z};$$

$$0 < \psi \leqslant \frac{\gamma}{2},$$

где ψ — угловое расстояние между наиболее нагруженным шариком и направлением действия радиальной нагрузки.

При $z = 6 \div 20$ в подшипниках с нулевым зазором коэффициент K_ψ колеблется в пределах 4,3—4,43. Таким образом, распределение нагрузок в подшипниках практически не зависит от положения комплекта шариков. Изменение значения K_ψ необходимо учитывать в тех случаях, когда требуются особо точные расчеты перемещений центра тяжести подшипника.

Роликоподшипник с цилиндрическими роликами

Сила, действующая на наиболее нагруженный ролик: для цилиндрического роликоподшипника без зазора

$$P_p = \frac{4R}{z};$$

с учетом обычно встречающихся зазоров

$$P_o = \frac{4{,}6R}{z}.$$

Упорный подшипник

В практике часто встречаются случаи, когда осевая нагрузка приложена не по оси упорного подшипника, а на некотором расстоянии от нее. Такого рода нагружение подшипников имеет место, например, в поворотных кранах и авиапомпах.

В рассматриваемом случае сила, действующая на наиболее нагруженный шарик (фиг. 10), определяется по формуле

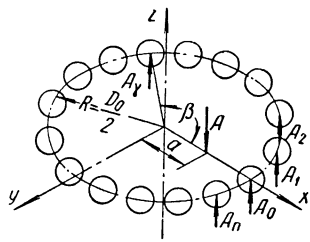
$$A_0 = K_\varepsilon \cdot \frac{A}{z},$$

где K_ε — коэффициент, зависящий от относительного эксцентрицитета;

$$\varepsilon = \frac{2a}{D_0};$$

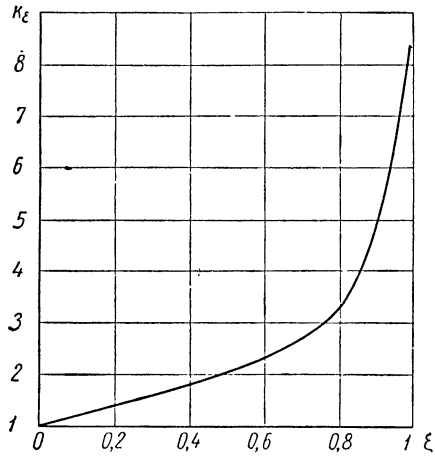
a — расстояние между линией действия нагрузки A и осью подшипника $\left(0 \leqslant a \leqslant \frac{D_0}{2}\right)$;

D_0 — диаметр расположения центров шаров; z — число шариков в подшипнике.



Фиг. 10. Эксцентрическая нагрузка упорного шарикоподшипника.

Величина K_ε определяется по графику, представленному на фиг. 11.



Фиг. 11. График для расчета упорных подшипников при нагрузке, смещенной относительно оси подшипника.

Расчет радиально-упорных шарикоподшипников [1]

Радиально-упорные шарикоподшипники предназначены в основном для восприятия комбинированных нагрузок. При этом может преобладать либо радиальная, либо осевая нагрузка.

Во многих подшипниковых узлах, для обеспечения жесткости и виброустойчивости, вращающегося вала радиально-упорные шарикоподшипники монтируются с предварительным осевым натягом.

[1] По методике инж. М. П. Белянчикова (ВНИПП).

Расчет элементов радиально-упорного подшипника базируется на изучении характера распределения комбинированной нагрузки между телами качения. Шарик, расположенный в направлении действия радиальной нагрузки, является наиболее нагруженным. Нагрузка на остальные шарики убывает по мере увеличения угловой координаты их расположения, отсчитываемой от вершины нагруженной зоны подшипника.

В подшипниках с четным числом шариков, наименее нагруженный шарик расположен под углом 180° по отношению к наиболее нагруженному; с нечетным числом шариков — под углом.

$$\frac{180^\circ}{z}(z-1),$$

где z — число шариков в подшипнике.

МАКСИМАЛЬНОЕ КОНТАКТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СМЯТИЯ

Расчет подшипника по максимальному контактному напряжению смятия производится для наиболее нагруженного шарика. Сила, действующая на этот шарик,

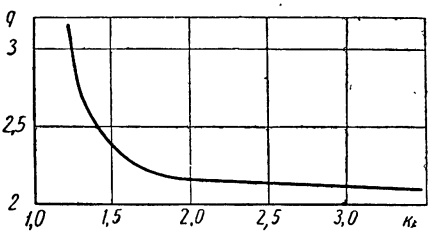
$$P_0 = \frac{A}{z \sin\beta} + q\frac{R}{z\cos\beta},$$

где A — осевая нагрузка; R — радиальная нагрузка; β — угол контакта; q — коэффициент распределения радиальной нагрузки.

Значения коэффициента q определяют в зависимости от величины

$$K_\xi = \frac{A}{R}\operatorname{ctg}\beta$$

по графику, представленному на фиг. 12.



Фиг. 12. Зависимость коэффициента распределения радиальной нагрузки q от $K_\xi = \frac{A}{R}\operatorname{ctg}\beta$.

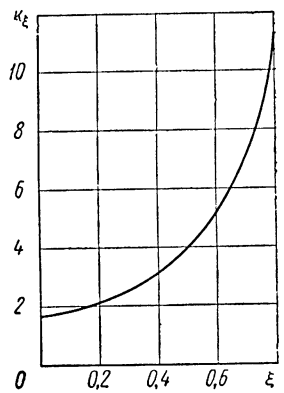
При $K_\xi > 3{,}5$ коэффициент q можно принимать постоянным и равным 2,1.

Давления, воспринимаемые шариками, расположенными по отношению к наиболее нагруженному шарику под углами α, кратными $\frac{360^\circ}{z}$, определяют по формуле

$$P_\alpha = P_0\left\{\frac{1}{1-\cos\gamma}[\xi - \cos\gamma + (1-\xi)\cos\alpha]\right\}^{3/2},$$

где ξ — отношение деформации наименее нагруженного шарика к деформации наиболее нагруженного.

Величина ξ определяется в зависимости от K_ξ по графику, представленному на фиг. 13.



Фиг. 13. Зависимость между отношением ξ деформаций наименее и наиболее нагруженного шарика от K_ξ.

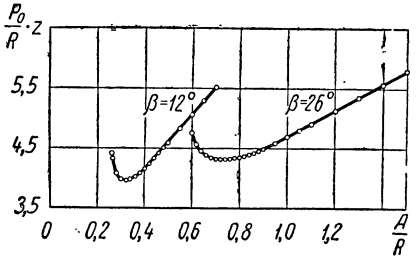
Представив уравнение силы, действующей на наиболее нагруженный шарик, в виде

$$\frac{P_0}{R}z = \frac{A}{R}\frac{1}{\sin\beta} + \frac{q}{\cos\beta}$$

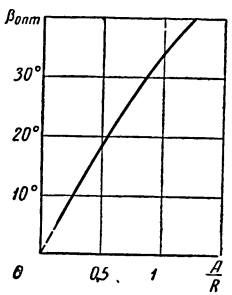
и построив кривые изменения $\frac{P_0}{R}z$ в зависимости от $\frac{A}{R}$ для подшипников с углами контакта $\beta = 12^\circ$ и $\beta = 26^\circ$, показанные на фиг. 14, получим, что при соотношении радиальной и осевой составляющих нагрузки $\frac{A}{R} \approx 1{,}5\ \operatorname{tg}\beta$ имеет место минимальное давление на наиболее нагруженный шарик.

Таким образом, минимальное давление на наиболее нагруженный шарик при каждом отношении $\frac{A}{R}$ можно получить соответствующим подбором угла контакта подшипника.

Величину оптимального угла контакта $\beta_{опт}$, соответствующего P_{0min}, выбирают по графику, представленному на фиг. 15.



Фиг. 14. Зависимость $\frac{P_0}{R} z$ при $=\beta=12°$ и 26°.



Фиг. 15. Определение оптимального угла контакта $\beta_{опт}$ в зависимости от $\frac{A}{R}$.

ЭКВИВАЛЕНТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА ЖЕЛОБЕ ВНУТРЕННЕГО КОЛЬЦА

Неравномерность распределения нагрузки между телами качения обусловливает разную величину контактных напряжений, испытываемых каждой точкой желоба внутреннего кольца в процессе его вращения.

Эти переменные напряжения можно заменить одним условным эквивалентным напряжением, постоянным для всех точек желоба данного кольца.

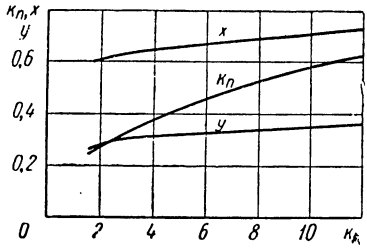
Величина эквивалентного напряжения смятия

$$\sigma_{экв} = F \sqrt[3]{P_0} \cdot \sqrt[s]{K_n} \ кГ/см^2,$$

где

$$F = \frac{0{,}25}{\mu\nu} \sqrt[3]{E^2 \Sigma\rho};$$

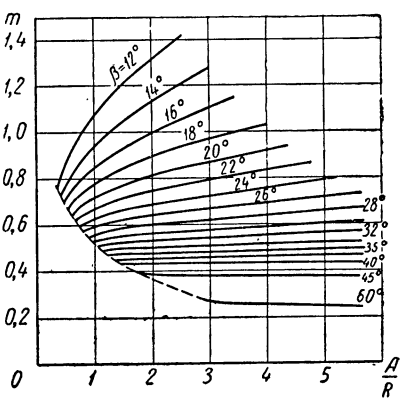
P_0 — сила, действующая на наиболее нагруженный шарик; s — показатель степени (в отечественной практике $s = 10$); K_n — коэффициент приведения, который определяется по фиг. 16 в зависимости от K_ξ.



Фиг. 16. Значение коэффициентов приведения K_n, x и y.

ПРИВЕДЕННАЯ НАГРУЗКА ПРИ ВРАЩАЮЩЕМСЯ ПОДШИПНИКЕ

Под приведенной (расчетной) нагрузкой понимается условная радиальная нагрузка, обеспечивающая ту же расчетную долговечность, как и заданные радиальная и осевая нагрузки при той же скорости и тех же эксплуатационных условиях.



Фиг. 17. Значение коэффициента эквивалентности m.

Подсчет приведенной нагрузки производят по формуле

$$Q = xR + yA \cdot \operatorname{ctg} \beta.$$

Коэффициенты приведения x и y определяют по графику (фиг. 16) в зависимости от K_ξ

Для практических расчетов стандартных подшипников можно пользоваться следующими формулами:

Тип подшипника	Формула	$\frac{A}{R}$
36 000	$Q = 0{,}39\,R + 1{,}77\,A$	$\geqslant 0{,}34$
46 000	$Q = 0{,}43\,R + 0{,}75\,A$	$\geqslant 0{,}76$
66 000	$Q = 0{,}47\,R + 0{,}48\,A$	$> 1{,}10$ до 2

При $\frac{A}{R}$ менее 0,34 принимают $Q = R$.

Вычисление приведенной нагрузки можно также производить с помощью коэффициента эквивалентности валентности $m = \frac{Q}{A + R}$, определяемого по графику, показанному на фиг. 17, в зависимости от $\frac{A}{R}$ и угла контакта β.

Каждая из кривых соответствует определенному углу контакта β из числа применяемых для радиально-упорных и упорно-радиальных подшипников.

Найдя коэффициент эквивалентности m, вычисляют затем приведенную нагрузку по формуле

$$Q = m(A + R).$$

Приведенная статическая нагрузка на подшипник

На практике встречаются машины, где радиально-упорные шарикоподшипники воспринимают нагрузку в статическом состоянии (т. е. при неподвижном вале и корпусе или при вращении со скоростью менее 1 об/мин). В этом случае необходимо определять приведенную статическую радиальную нагрузку, под которой, понимается условная радиальная нагрузка, создающая давление на наиболее нагруженный шарик, равное давлению на него от заданной комбинированной нагрузки.

Приведенная статическая нагрузка

$$Q_{cm} = 0{,}23(qR + A \operatorname{ctg} \beta).$$

При расчетах стандартных подшипников можно пользоваться формулами:

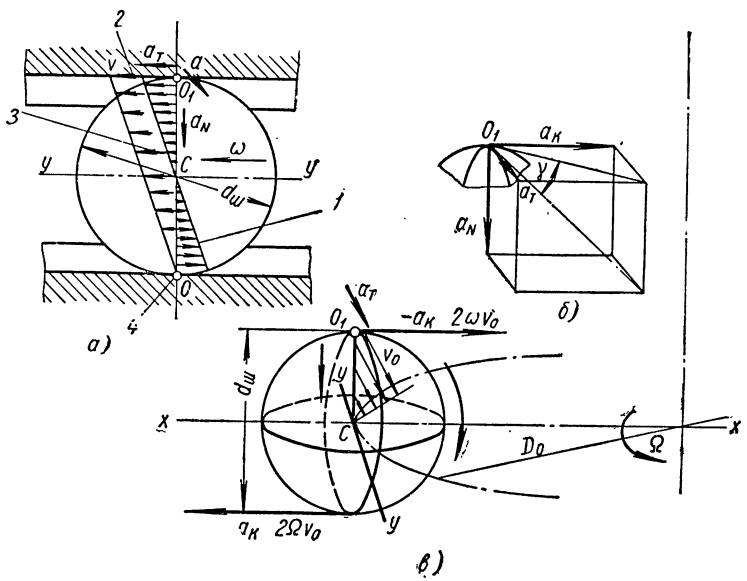
Тип подшипника	Формула
36 000	$Q_{cm} = 0{,}5\,R + 1{,}1\,A$
46 000	$Q_{cm} = 0{,}5\,R + 0{,}5\,A$
66 000	$Q_{cm} = 0{,}5\,R + 0{,}3\,A$

Глава X

ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В УПОРНЫХ И РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКАХ

КИНЕМАТИКА УПОРНОГО ШАРИКОПОДШИПНИКА

Кинематика упорного подшипника характеризуется следующими зависимостями.



Фиг. 1. Кинематика упорного шарикоподшипника: *1* — график относительных скоростей; *2* — абсолютная скорость; *3* — переносная скорость; *4* — мгновенный центр вращения.

1. Линейная скорость центра шарика v_0 в относительном движении его вокруг оси z (фиг. 1, *а, в*)

$$v_0 = \frac{v}{2} = \frac{\pi D_0 n}{2 \cdot 60 \cdot 1000} \text{ м/сек},$$

где D_0 — диаметр окружности по центрам шариков в *мм*; n — число оборотов вала в мин.; v — абсолютная линейная скорость вращающегося кольца и шарика в *м/сек*.

2. Нормальное (центростремительное) ускорение шарика $a_N = \frac{2v_0^2}{0{,}001\ d_ш}$ *м/сек*^{2}. тангенциальное ускорение (при переменной скорости вращения $a_T = \frac{dv_0}{d_t}$ *м/сек*^{2}. Диаметр шариков $d_ш$ в *мм*.

3. Угловая скорость переносного вращения (вокруг оси z) при переносной скорости $v_n = \frac{v}{2}$ равна

$$\Omega = \frac{2v_n}{D_0} = \frac{\pi n}{60} \text{ рад/сек}.$$

4. Наибольшая величина поворотного (кориолисова) ускорения на периферии

шарика определяется по выражению

$$a_к = 2\Omega v_0 = \frac{\pi^2 n^2 D_0}{3\,600\,000} \approx \frac{n^2 D_0}{360\,000} \text{ м/сек}^2$$

(с изменением по синусоиде).

Результирующее ускорение на периферии шарика

$$\bar{a}'_{рез} = \bar{a}_N + (-\bar{a}_{к\,max}) + \bar{a}_T .$$

При равномерном вращении ($a_T = 0$), т. е. наибольшее полное ускорение для данного случая

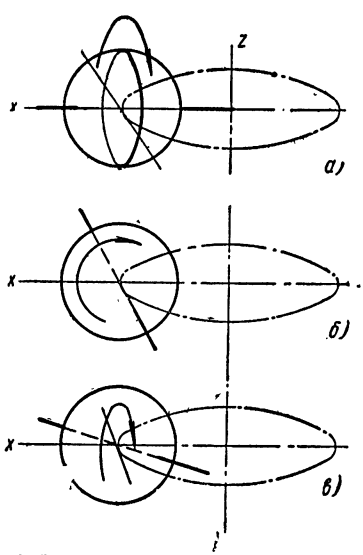
$$a'_{рез} = \sqrt{\left(\frac{2v_0^2}{0{,}001 d_ш}\right)^2 + (2\Omega v_0)^2} =$$

$$= \frac{\pi^2 n^2 D_0}{3\,600\,000} \sqrt{\left(\frac{D_0}{4d_ш}\right)^2 + 1} \text{ м/сек}^2.$$

В случае неравномерного вращательного движения

$$a'_{рез} = \sqrt{\left(\frac{2v_0^2}{0{,}001 d_ш}\right)^2 + (2\Omega v_0)^2 + a_T^2}$$

и является диагональю прямоугольного параллелепипеда.



Фиг. 2. Три вида вращения шарика упорного подшипника: *а* — нормальное вращение; *б* — вращение под действием гироскопического момента; *в* — результирующее вращение вокруг оси скрещивающейся с осью *z*.

Угол ρ наклона вектора $\vec{a}_{рез}$ к оси *z* при $a_T = 0$ определяется по выражению

$$\operatorname{tg}\rho = \frac{a_к}{a_N} = \frac{2\Omega v_0}{\frac{2v_0}{0{,}001 d_ш}} = \frac{2d_ш}{D_0} .$$

Вектор полного ускорения в общем случае образует с плоскостью вращения $x - y$ угол γ, определяемый по формуле

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{a_N}{\sqrt{a_T^2 + a_к^2}}$$ (см. фиг. 1, *б*).

Движение шарика под влиянием сил инерции, связанных с кориолисовым и тангенциальным ускорениями (последнее особенно сказывается в моменты резкого реверса) сопряжено с неизбежным нарушением правильного вращения его вокруг оси *xx*. В действительности вращение происходит вокруг некоторой другой оси *uu*, скрещивающейся с осью *zz* (фиг. 2). Положение оси в каждый данный момент обусловлено вращающей парой, получающейся от сложения гироскопического момента с моментом трения.

ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ МОМЕНТ ШАРИКОВ В УПОРНОМ ПОДШИПНИКЕ

Главный момент сил инерции масс частиц шарика или гироскопический момент $M_г$ равен полярному моменту инерции I_p тела, являющегося гироскопом, умноженному на векторное произведение угловых скоростей

$$M_г = J_p \omega \Omega .$$

Полярный момент инерции массы шарика

$$J_p = \frac{\pi}{60}\frac{\gamma}{g} d_ш^5 \text{ кГ·см·сек}^2,$$

где γ — удельный вес для шарика из стали ШХ15, равный 7,85 Г/см³; g — ускорение силы тяжести.

Если выразить $d_ш$ в *мм*, $J_p = 4{,}19 \cdot 10^{-8} d_ш$.

Угловая скорость вращения шарика вокруг собственной оси

$$\omega = \frac{\pi n_{сеп}}{30} \cdot \frac{D_0}{d_ш} = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{D_0}{d_ш} \text{ рад/сек},$$

где $n_{сеп} = \frac{n}{2}$ — число оборотов шариков в переносном движении вокруг оси подшипника, т. е. число оборотов сепаратора.

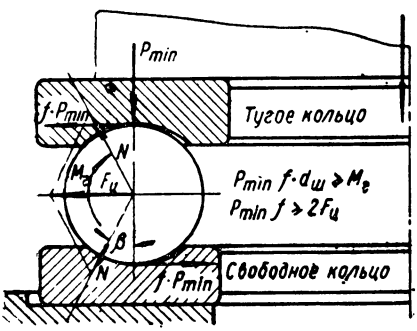
Угловая скорость шарика в переносном движении

$$\Omega = \frac{\pi n_{сеп}}{30} = \frac{\pi n}{60},$$

откуда при значениях $d_ш$ и D_0 в *мм*

$$M_г = J_p \omega \Omega = 1{,}15 \cdot 10^{-9} \cdot d_ш^4 D_0 n^2 \ кГсм.$$

Скольжение шариков по желобам под действием гироскопического момента $M_г$ (фиг. 2, *б*) может быть устранено только за счет момента трения, создаваемого внешней нагрузкой или предварительным натягом колец пружинами.



Фиг. 3. Погашение гироскопического момента $M_г$ за счет момента трения $Pfd_ш$.

Минимальная нагрузка на один шарик, устраняющая гироскопическое скольжение (фиг. 3),

$$P_{min} = 1{,}15 \cdot 10^{-9} \cdot d_ш^3 D_0 \frac{n^2}{f} \approx \frac{2F_ц}{f},$$

где $f = 0{,}07 \div 0{,}08$ (при хороших условиях смазки и высокой скорости вращения до 0,02) — коэффициент трения скольжения шариков о желоба; $F_ц$—центробежная сила в *кГ*, действующая на шарик весом $G_ш$ при его вращении с угловой скоростью Ω, определяемая по формуле

$$F_ц = \frac{G_ш}{g} \cdot \frac{\pi^2 n_{сеп}^2}{900} \cdot \frac{D_0}{2} кГ.$$

Сравнивая

$$P_{min} = 11{,}5 \frac{d_ш^3}{f} D_0 n^2 \cdot 10^{-9} кГ$$

и

$$F_ц = 5{,}7 d_ш^3 D_0 n^2 \cdot 10^{-9} кГ,$$

нетрудно видеть, что

$$P_{min} \approx \frac{2 \cdot F_ц}{f}.$$

Осевая нагрузка на весь однорядный упорный шарикоподшипник с числом шариков *z*, устраняющая гироскопическое скольжение шариков,

$$A_{min} = 1{,}1 \cdot zP_{min} \approx 1{,}1 \frac{2 \cdot zF_ц}{f};$$

где 1,1 — коэффициент безопасности, компенсирующий возможность разгрузки части шариков при небольших перекосах.

Центробежная сила шарика $F_ц$ разлагается по правилу параллелограмма на два нормальных давления N (фиг. 3). Векторы N располагаются под углом β к оси.

Гироскопическое скольжение практически не опасно, если при любом значении угла β нормальное давление

$$N < 0{,}008 \cdot d_ш^2.$$

Это неравенство возможно, если на подшипник действует осевая нагрузка

$$A_{min} > 0{,}008 \cdot d_ш^2 z,$$

при числе оборотов вала в минуту

$$n_{max} < \frac{37\,500}{\sqrt{d_ш D_0}}.$$

В приведенных неравенствах N и A_{min} в *кГ*; $d_ш$ и D_0 в *мм*.

В случае использования стандартных упорных шарикоподшипников

$$n_{max} < \frac{86\,200}{\sqrt{D^2 - d^2}},$$

здесь d и D — внутренний и наружный диаметры подшипника в *мм*. Указанную рекомендацию, даваемую независимо от внутренней конструкции подшипника, следует рассматривать как ориентировочную. Максимально допустимый угол контакта β, возникающий под действием силы $F_ц$, определяется суммой зазоров $K_1 + K_2 = K$ между гнездом сепаратора и шариком (фиг. 4). Допускаемое смещение шарика в направлении действия силы $F_ц$ равно полусумме зазоров шарика в сепараторе, т. е.

$$\frac{K_1 + K_2}{2} = \frac{K}{2}.$$

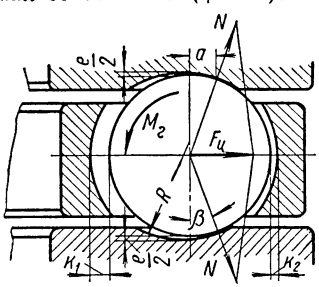
При смещении, большем $\frac{K}{2}$, будет иметь место трение шариков о стенки гнезда сепаратора, иногда вызывающее сильный нагрев последних с появлением на них цветов побежалости, износ гнезд и разрыв сепаратора.

ВЛИЯНИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА СОСТОЯНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ УПОРНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ

На желобах упорного шарикоподшипника, работающего при высоком числе оборотов без предварительного натяга, через короткий промежуток времени появляется матовая дорожка, смещенная на некоторое расстояние от центровой линии желоба. Величина этого смещения a при заданной осевой игре c упорного подшипника легко подсчитывается, без учета деформаций, из геометрических соотношений по формуле

$$a = \left(R - \frac{d_ш}{2} \right) \sin \beta,$$

где $R = (0{,}52 \div 0{,}54)\, d_ш$ — радиус желоба колец; β — угол отклонения линии давления от оси вала (фиг. 4).



Фиг. 4. Смещение шарика упорного подшипника в сепараторе.

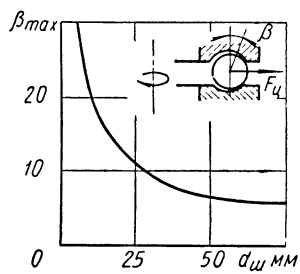
При этих же условиях угол β можно легко подсчитать по формуле

$$\cos \beta = \frac{R - \frac{d_ш}{2} - \frac{c}{2}}{R - \frac{d_ш}{2}}.$$

Указанное смещение шариков возникает либо в пределах зазора $\frac{K}{2}$ в гнездах сепаратора, либо при эксцентрическом смещении всего сепаратора, что может иметь место в разгруженном ряде двойного упорного подшипника на горизонтальном валу. Для определения наибольшего допустимого угла отклонения линии давления β с учетом зазора шариков в гнездах сепаратора иногда рекомендуют формулу

$$\beta_{max} = \arcsin \frac{K_{max}}{0{,}08 \cdot d_ш}$$

Для подсчета необходимой величины осевой игры c, на которую следует отрегулировать упорный шарикоподшипник, можно воспользоваться также ориентировочно кривой значений β_{max}



Фиг. 5. Предельные значения угла отклонения линии давления β ° от направления оси вала в зависимости от диаметра шарика $d_ш$.

в зависимости от $d_ш$ (фиг. 5), построенной по экспериментальным данным. При практическом назначении c нельзя не учитывать возможных погрешностей изготовления и монтажа сопряженных с подшипником деталей, числа оборотов вала, теплового режима узла и направления, по которому идет тепловое расширение его деталей, а также величины нагрузки и серийности подшипника.

Если осевая игра взята завышенной, то в разгруженном ряде двойного упорного подшипника гироскопическое верчение шариков дает на кольцах резко выраженные косые риски («елку»), а на шариках появляются матовые точки и запятые, как следы мгновенных защемлений, которые покрывают всю поверхность шариков и сообщают ей матовый вид. Наблюдались даже случаи мгновенного сваривания шариков с желобами, что при последующем отрыве давало характерные вырванные, слегка оплавленные, микрозоны на рабочих поверхностях.

К еще худшим результатам приводит резкое занижение регулировочной осевой игры c у тяжелых высокоскоростных упорных подшипников. Нагрев деталей подшипника от трения вызывает в крупногабаритных скоростных опорах их тепловое расширение и одновременно снижение твердости, что приводит к

пластической деформации желобов и тел качения. Одновременно происходит коробление массивного сепаратора и разрыв его по перемычкам.

ДЕЙСТВИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ И ГИРОСКОПИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ НА ШАРИКИ РАДИАЛЬНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ

В радиальном шарикоподшипнике центробежные силы шариков создают дополнительные нагрузки на наружных кольцах высокоскоростных подшипников аналогично предыдущему:

а) при вращении внутреннего кольца

$$F_ц = 5{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot d_ш^3 \frac{(D_o - d_ш)^2}{D_o} n_в^2;$$

б) при вращении наружного кольца

$$F'_ц = 5{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot d_ш^3 \frac{(D_o + d_ш)^2}{D_o} n_н^2.$$

Здесь $F_ц$ и $F'_ц$ в $Г$; $d_ш$ и D_o в *см*.

Пример. Для подшипника № 6 по ГОСТ с габаритами $6 \times 19 \times 6$ *мм* и шестью шариками при $d_ш = 5/32'' = 3{,}969$ *мм* и $n_{в.к} = 100$ об/мин, $F_ц \approx 0{,}2$ $Г$. Для того же подшипника при $n'_{в.к} = 100\,000$ об/мин, $F'_k \approx 2$ $kГ$, т. е. при увеличении числа оборотов в 100 раз центробежная сила шарика возрастает в 10 000 раз.

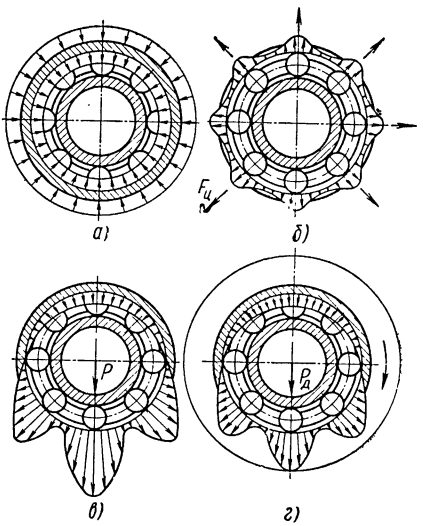
На фиг. 6 представлены примерные эпюры распределения нормальных напряжений в наружном кольце высокоскоростного радиального подшипника от посадочного натяга, центробежных сил, внешней нагрузки и дисбаланса. Гироскопические моменты в радиальном шарикоподшипнике, не имеющем угла контакта β, возникать не могут; однако в радиально-упорных и особенно в упорно-радиальных подшипниках они нарастают пропорционально $\sin\beta$, где β — угол контакта.

$$M'_г = M_г \sin\beta.$$

Соответственно этому, если в упорном подшипнике нагрузка, необходимая для погашения гироскопического скольжения, равна P_{min} для каждого шарика, то для любого другого типа радиально-упорного шарикоподшипника

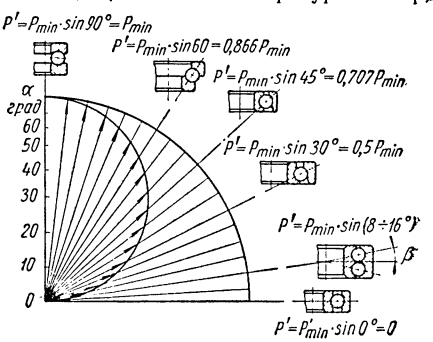
$$P'_{min} = P_{min} \sin\beta, \quad \text{(фиг. 7).}$$

Отсюда вытекает необходимость осевого натяга для всех типов радиально-упорных подшипников, а в случае невозможности осуществления такового — ограничение осевых зазоров, т. е. регулировка этих подшипников.



Фиг. 6. Примерные эпюры нормальных напряжений в наружном кольце высокоскоростного подшипника: *а* — от посадочного натяга; *б* — от центробежных сил шариков; *в* — от внешней нагрузки; *г* — от дисбаланса.

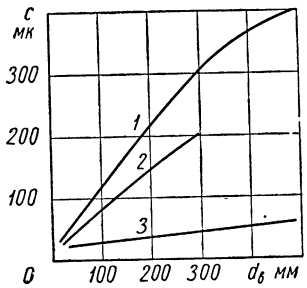
Рекомендуемые величины осевой игры подшипников зависят от способа их установки, рабочей температуры опор,



Фиг. 7. Полярная диаграмма величин осевой нагрузки P_{min}, необходимой для погашения эффектов гироскопического скольжения шариков в подшипниках с различными углами контакта β.

расстояния между ними, нагрузки, числа оборотов и конструкции подшипни-

ков. Некоторые средние значения применяемых в СССР регулировочных зазоров приведены на диаграмме фиг. 8.



Фиг. 8. Рекомендуемые величины осевой игры c при парной установке радиальноупорных и упорных подшипников качения (расстояние между опорами не более $12d_в$): *1* — конические роликоподшипники; *2* — радиально-упорные шарикоподшипники; *3* — двойные упорные шарикоподшипники.

При установке радиально-упорных шарикоподшипников в шпиндельных узлах с предварительным натягом величина последнего может быть определена по формуле

$$A_{0\min} = 1{,}7 \operatorname{tg}\beta R + 0{,}5\,A,$$

где R и A — соответственно радиальная и осевая нагрузки.

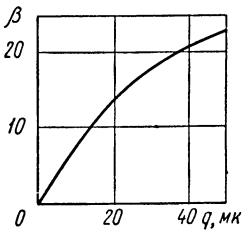
При установке с предварительным натягом однорядных радиальных шарикоподшипников.

$$A_{0\min} = 0{,}04 \cdot dz^2_ш \text{ мм},$$

где $A_{0\min}$ — в *кГ*, $d_ш$ — в *мм*, а разность длин распорных трубок или разность толщин прокладок

$$\Delta l = 0{,}0156 \cdot d_ш.$$

При сдваивании однорядных радиальных подшипников необходимо, чтобы их радиальные зазоры различались не более чем на 5 *мк*, а осевые зазоры были примерно на верхнем пределе $c_{\max}$ до $0{,}005\,d_ш$ *мм*. Это позволяет довести угол контакта до 26°. У радиально-упорных шарикоподшипников зависимость



Фиг. 9. Зависимость угла контакта β для подшипника № 36205 (без нагрузки) от радиального зазора q.

угла контакта β от радиального зазора q *мк* значительна, как видно из графика, представленного на фиг. 9. Желательно, чтобы углы контакта сдваиваемых подшипников под нагрузкой различались не более чем на 3°, что не всегда достижимо.

Глава XI

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При современной специализации производства конструкторам общего машиностроения приходится весьма редко иметь дело с проектированием подшипников качения. Последнее, как правило, производится специализированными конструкторскими бюро, с возможно более широким использованием уже изготовляемых деталей и в первую очередь тел качения.

Однако, учитывая тенденцию к постепенному срастанию некоторых подшипников с деталями, в которых они устанавливаются, в ряде случаев необходимо иметь данные о конструктивных соотношениях некоторых типов подшипников и по методике расчета их грузоподъемности.

Долговечность подшипников качения определяется по формуле (см. гл. III стр. 117).

$$C = Q\,(nh)^{0,3} \quad \text{или} \quad h = \frac{\left[\frac{C}{Q}\right]^{10/3}}{n}.$$

Формула показывает, что при увеличении коэффициента работоспособности вдвое долговечность увеличивается в 10 раз.

Поэтому обычно при проектировании подшипников стремятся к получению наибольшего коэффициента работоспособности при сохранении достаточной механической прочности деталей.

Коэффициенты работоспособности определяются по формулам, приведенным в гл. III, стр. 117

Как видно из формул, размеры тел качения больше влияют на величину коэффициента работоспособности, чем их число. Поэтому при проектировании подшипников следует стремиться в допустимых пределах к использованию возможно больших размеров тел качения, а затем большего количества их в комплекте.

При проектировании подшипников необходимо обеспечить максимальную унификацию, нормализацию деталей и использование уже изготовляемых деталей,— в первую очередь стандартных и освоенных размеров шариков и роликов.

Необходимо иметь в виду также следующее:

1. Габаритные размеры подшипников качения должны соответствовать ГОСТ 3478-54 «Нормальные габаритные размеры шарико- и роликоподшипников».

2. Допуски на габаритные размеры должны быть соблюдены по ГОСТ 520-55 «Шарико- и роликоподшипники. Технические условия».

3. Габаритные фаски должны соответствовать ГОСТ 3478-54 и стандартам на данный типоразмер подшипника, а также ГОСТ 4253-48 «Фаски шарико- и роликоподшипников».

4. Твердость деталей, изготовляемых из подшипниковой стали, должна быть в пределах, указанных в табл. 1.

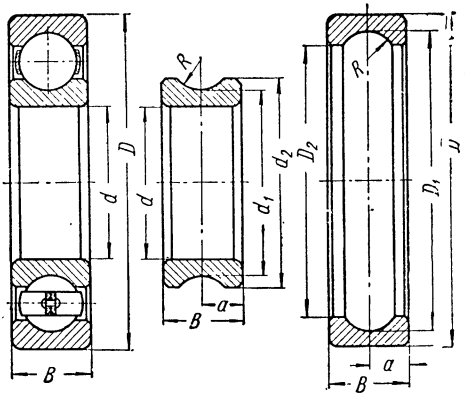
1. Твердость колец, шариков и роликов, изготовленных из хромистой стали

Наименование деталей	Число единиц твердости по Роквелу, шкала С
Кольца, ролики бочкообразные, конические и игольчатые	61—65
Шарики	62—66
Ролики цилиндрические короткие $\frac{l}{d_p} \leqslant 2$	61—65
Ролики цилиндрические длинные $\frac{l}{d_p} > 2$	48—56
Ролики витые	45—50

Примечание. При изготовлении роликов и колец из стали ШХ15-СГ допускается твердость *HRC* 60 — 64.

Шарикоподшипники радиальные однорядные (ГОСТ 8338-57)

Общий вид и детали подшипника показаны на (фиг. 1—3).



Фиг. 1. Однорядный радиальный шарикоподшипник.

Фиг. 2. Внутреннее кольцо однорядного радиального шарикоподшипника.

Фиг. 3. Наружное кольцо однорядного радиального шарикоподшипника.

Диаметр шарика $d_ш$ определяется в зависимости от высоты «живого сечения» подшипника.

$$H = \frac{D - d}{2},$$

где D и d — соответственно наружный и внутренний диаметр подшипника.

Для подшипников серий 200, 300 и 400 при $d < 45$ *мм* и для подшипников особо легких серий.

$$d_ш = 0{,}6H.$$

Для подшипников серий 200, 300 и 400 при $d > 45$ *мм*

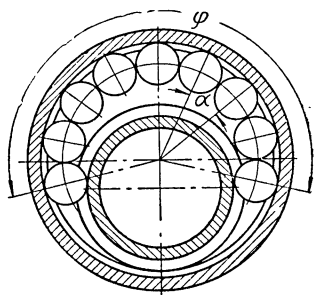
$$d_ш = 0{,}635\,H.$$

У малогабаритных и быстроходных подшипников можно уменьшить величину $d_ш$ до 0,55 H.

Полученный диаметр шарика должен быть округлен до ближайшего размера, имеющегося в производстве.

При выбранном диаметре шарика следует проверить возможность размещения сепаратора в «живом сечении» подшипника.

Определение числа шариков. Число шариков z, которое можно вставить в подшипник, зависит от диаметра шарика, от диаметра центровой окружности D_0 и от так называемого угла заполнения φ (фиг. 4), стороны которого соединяют центры двух крайних шариков с центром подшипника, когда



Фиг. 4. Угол заполнения в однорядном радиальном шарикоподшипнике.

шарики сдвинутся вплотную на дорожке качения наружного кольца.

В зависимости от заданной высоты бортов угол заполнения определяет наибольшее число шариков, которое может быть вставлено в подшипник.

Для расчета принимают диаметр центровой окружности.

$$D_0 = \frac{D + d}{2}; \quad \varphi \approx 186°,$$

тогда

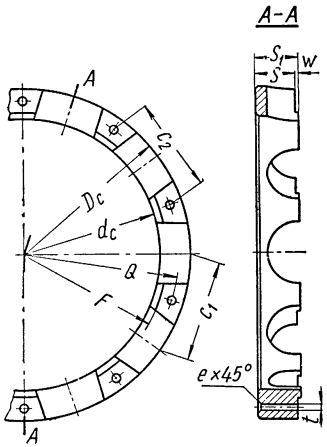
$$z = \frac{\varphi}{2\arcsin\dfrac{d_ш}{D_0}} + 1.$$

В отдельных случаях удается увеличить φ до 194°, но в этом случае сборка подшипников невозможна без применения специальных приспособлений, сильно усложняющих и замедляющих процесс сборки. Допускается также изменение значений D_0, но не более, чем на $\pm 3\%$.

Радиус желоба поднимается

$$R \approx 0{,}515\,d_ш.$$

С целью уменьшения трения в высокоскоростных подшипниках разрешается увеличивать радиус («развал») желоба,



Фиг. 5. Половина массивного сепаратора с бортом однорядного радиального шарикоподшипника.

что, однако, снижает грузоподъемность подшипника.

Диаметр по дну желоба:

а) внутреннего кольца

$$d_1 = D_0 - d_ш;$$

б) наружного кольца

$$D_1 = d_1 + 2d_ш.$$

Расстояние от торца кольца до середины желоба

$$a = \frac{1}{2} B,$$

где B — ширина кольца.

Диаметры борта:

а) внутреннего кольца

$$d_2 \approx d_1 + 0{,}4\, d_ш;$$

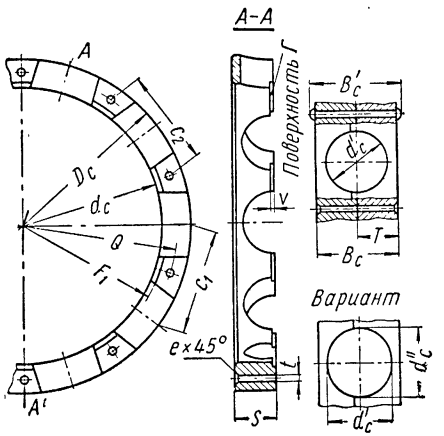
б) наружного кольца

$$D_2 \approx D_1 - 0{,}4\, d_ш.$$

Для подшипников малых размеров минимальная высота бортов в отдельных случаях равна 0,15 $d_ш$.

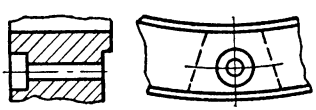
Сепараторы у радиальных однорядных подшипников могут быть штампованные или массивные.

На фиг. 5 и 6 показана конструкция массивного сепаратора



Фиг. 6. Половина массивного сепаратора с пазом для однорядного радиального шарикоподшипника

Допускается конструкция сепаратора с гнездами под головки заклепок (фиг. 7).



Фиг. 7.

Расчетные формулы параметров сепаратора приведены в табл. 2. Эти формулы могут быть также использованы при конструировании неразъемных сепараторов радиально-упорных подшипников.

2. Расчетные формулы для массивных сепараторов

Размеры в *мм*

Расчетные параметры	Сепаратор направляется бортиками	
	внутреннего кольца	наружного кольца
d_c	$d_2 + \varepsilon$	$D_c - d_ш$
D_c	$d_c + d_ш$	$D_2 - \varepsilon$

Продолжение табл. 2

Расчетные параметры	Сепаратор направляется бортиками	
	внутреннего кольца	наружного кольца
C_1^*	$D_c \sin\frac{180}{z}$	
C_2^*	$Q \sin\frac{180}{z}$	
Q^*	$D_o + (0{,}12 \div 0{,}18)(D_c - d_c)$	
d_c'	$d_ш + \delta_p + \delta_\Delta$	
B_c'	$(0{,}85 \div 0{,}95)B$	
B_c	$B_c' - 2h$ при $\frac{B_c - \alpha_c}{2} \geqslant 0{,}13 d_ш$	
S	$\frac{B_c}{2}$	
F и F_1	$d_c + 0{,}3(D_c - d_c)$	
W	1,2 — 1,5	
V	1,5 — 2	
t	$\approx 0{,}1 d_ш$	

Обозначения: δ_p — разнотолщинность боковых стенок гнезд сепаратора;
δ_Δ — верхнее отклонение производственного допуска на диаметр шарика;
h — высота головки заклепки.

*Размеры для проектирования инструмента.

3. Значение ε

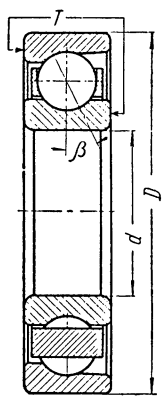
Интервалы диаметров d_2 и D_2		Сепаратор направляется бортиками	
свыше	до	внутреннего кольца	наружного кольца
—	50	0,2	0,3
80	120	0,25	0,4
120	180	0,3	0,5
180	260	0,35	0,6
260	360	0,4	0,7
360	500	0,45	0,8
		0,5	1,0

Шарикоподшипники радиально-упорные (ГОСТ 831-54)

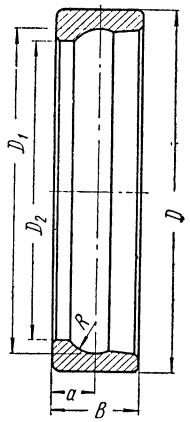
Общий вид и чертеж наружного кольца подшипника показаны на фиг. 8 и 9.

Для радиально-упорных шарикоподшипников стандартизованы расчетные углы контакта — 12, 26 и 36°.

Расчет диаметра шариков и размеров внутреннего кольца производится так же, как для радиальных подшипников.



Фиг. 8. Радиально-упорный шарикоподшипник.



Фиг. 9. Наружное кольцо радиально-упорного шарикоподшипника.

Таким образом, внутренние кольца радиальных и радиально-упорных шарикоподшипников одинаковы.

Определение диаметра окружности центров шариков производится по формуле

$$D_o = d_1 + k d_ш,$$

где k — некоторый коэффициент, зависящий от β, значения которого приведены в табл. 4.

Число шариков z определяется по формуле

$$z = \frac{\pi D_o}{k_1 d_ш},$$

где

$$k_1 = 1{,}01 + \frac{2{,}1}{d_ш}, \quad \text{если } d_ш < 5''/8;$$

$$k_1 = 1{,}15, \quad \text{если } d_ш \geqslant 5''/8.$$

Число шариков, определенное по формуле, округляют до меньшего целого значения.

Радиус желоба

$$R = 0{,}515\, d_ш.$$

Диаметр по дну желоба наружного кольца

$$D_1 = d_1 + 2k d_ш,$$

где d_1 — диаметр по дну желоба внутреннего кольца; k — коэффициент, значения которого даны в табл. 4.

Если нельзя использовать внутренние кольца от радиальных подшипников (например, когда при большом угле контакта не размещается сепаратор), то диаметр по дну желоба определяется для внутреннего кольца по формуле

$$d_1 = D_o - kd_ш,$$

для наружного кольца

$$D_1 = D_o + kd_ш.$$

Диаметр борта внутренних колец определяется по формуле

$$d_2 = d_1 + 2k_2 d_ш;$$

наружных колец

$$D_2 = D_1 - 2k_2 d_ш.$$

Высота замка t на наружном кольце определяется по формуле

$$t = 0{,}00065D_1 + k_3 d_ш + 0{,}05.$$

Коэффициенты k_2 и k_3, как и коэффициент k, зависят от β и даны в табл. 4.

4. Коэффициенты k, k_2 и k_3 в зависимости от угла контакта β

β	12°	26°	36°
k	1,00065	1,00305	1,00575
k_2	0,2	0,2	0,25
k_3	0,00815	0,00815	0,00949

Расстояние от опорного торца до середины желоба наружного кольца определяется по формуле

$$a = \frac{B}{2} + [2R - 0{,}5(D_1 - d_1)]\operatorname{tg}\beta - 2\delta,$$

где δ = от 0,03 до 0,08 *мм*.

Величины δ должны быть выбраны тем большими, чем больше размер подшипника.

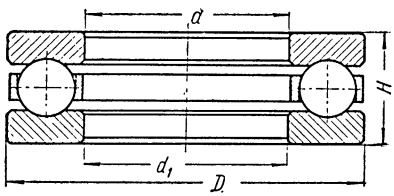
Шарикоподшипники упорные одинарные (ГОСТ 6874-54)

Общий вид и детали подшипника приведены на фиг. 10—13.

Диаметр шариков определяется по формуле

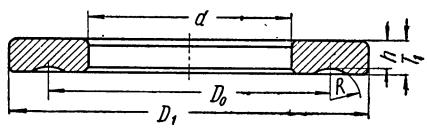
$$d_ш \approx 0{,}52 \cdot H,$$

где H — высота одинарного упорного подшипника.



Фиг. 10. Упорный шарикоподшипник.

В отдельных случаях, когда сепаратор не размещается в габаритах подшипника, следует уменьшить диаметр шарика.



Фиг. 11. Тугое кольцо.

Число шариков подшипника определяется по формуле

$$z = \frac{\pi D_o}{k_1 d_ш};$$

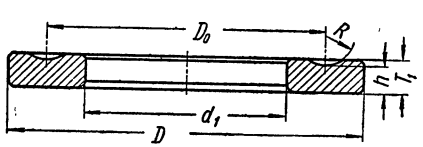
где

$$D_0 = \frac{D + d}{2}$$

Для массивных сепараторов примерное значение

$$k_1 \geqslant 1{,}085 + \frac{1{,}1}{d_ш}$$

Так как расчетное значение z округляют до целого числа шариков, то для их



Фиг. 12. Свободное кольцо.

размещения разрешается несколько увеличивать диаметр D_0 при условии, если размещается сепаратор.

Радиус желоба

$$R \approx 0{,}54 d_ш.$$

Толщина каждого из колец

$$T = 0{,}5H - 0{,}4 d_ш.$$

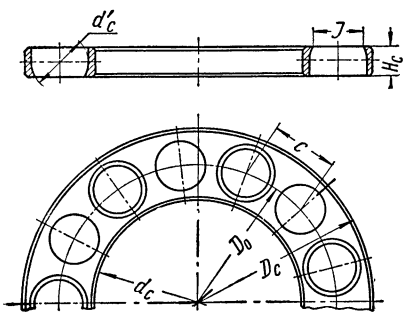
Толщина колец по дну желоба

$$h = 0{,}5\,(H - d_ш).$$

Глубина желоба

$$g = T - h = 0{,}3 d_ш.$$

Наружные и внутренние диаметры колец должны соответствовать ГОСТ 3478-54.



Фиг. 13. Массивный сепаратор упорного шарикоподшипника.

Высота массивного сепаратора

$$H_c = k_4 d_ш,$$

где $k_4 = 0{,}55$ при $d_ш \leqslant {}^5/_8''$; $k_4 = 0{,}50$ при $d_ш > {}^5/_8''$

Наружный диаметр сепаратора.

$$D_c = D_0 + k_5 d_ш,$$

где $k_5 = 1{,}35$ при $d_ш \leqslant {}^3/_4''$; $k_5 = 1{,}25$ при $d_ш > {}^3/_4''$.

Окончательный диаметр центровой окружности сепаратора для принятого значения z

$$D_0 = \frac{z k_6 d_ш}{\pi}.$$

Значения коэффициентов k_6 даны в табл. 5.

5. Значения коэффициентов k_3

Значения $d_ш$ в дюймах	До ${}^1/_4''$	${}^1/_4$—${}^1/_8''$	${}^3/_8$—${}^5/_8''$	Св. ${}^5/_8''$
k_6	2,7	2,6	2,5	2,44

Внутренний диаметр сепаратора

$$d_c = 2D_0 - D_c.$$

При этом должно соблюдаться неравенство

$$\frac{D_c - d_c}{2} \leqslant D - D_0 - q - 0{,}2.$$

В табл. 6 приведены значения q для некоторых наружных диаметров.

6. Значения величин q

D в мм	До 120	120—200	Св. 200
q в мм	0,3	0,4	0,5

Гнезда под шарики выполняются цилиндрическими на глубину

$$t_1 = \frac{H_c}{2}.$$

Нижняя часть гнезда — сферическая. Диаметр сферы равен диаметру гнезда (см. табл. 2).

Диаметр отверстия по дну гнезда определяется по формуле

$$J = 2\sqrt{\left(\frac{d'_c}{2}\right)^2 - (t_1)^2}.$$

Расстояние между гнездами

$$C = D_0 \sin \frac{180^\circ}{z}.$$

Соседние гнезда высверливаются с противоположных торцов.

Наименьшая величина выступания шариков за торцы сепаратора

$$k_p = \frac{d_ш}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_ш}{2}\right)^2 - \left(\frac{J_{max}}{2}\right)^2} - H_c - 0{,}3,$$

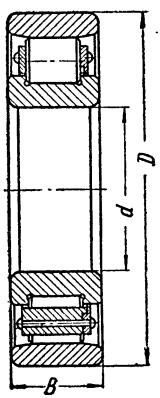
при этом должно выполняться условие

$$k_p - g \geqslant 0{,}05 d_ш,$$

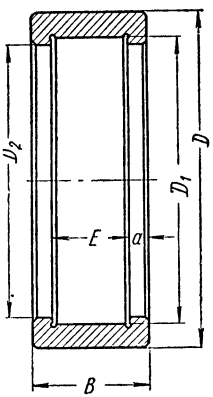
где g — наибольшая глубина желоба. Если это условие не выполнено, то следует уменьшать высоту сепаратора H_c.

Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами (ГОСТ 8328-57)

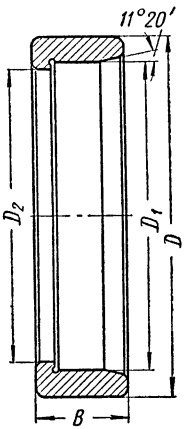
Конструкция и детали роликоподшипников показаны на фиг. 14—21.



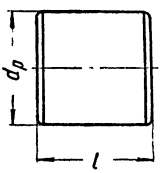
Фиг. 14. Роликоподшипник радиальный с короткими цилиндрическими роликами.



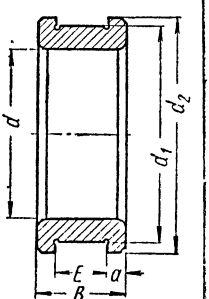
Фиг. 15 Наружное двухбортовое кольцо.



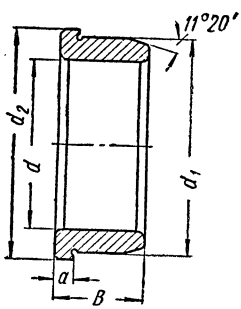
Фиг. 16. Наружное однобортовое кольцо.



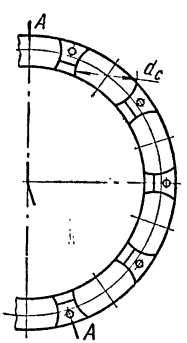
Фиг. 17. Ролик.



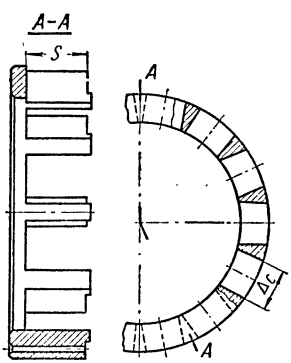
Фиг. 18. Внутреннее двухбортовое кольцо.



Фиг. 19. Внутреннее однобортовое кольцо



Фиг. 20. Сепаратор заклепочный (составной).



Фиг. 21. Сепаратор (цельный) беззаклепочный.

Расчет основных элементов внутренней конструкции роликоподшипников производится одним из следующих способов.

а) Случай, когда заданы диаметры d_1 и D_1 дорожек качения соответственно для внутреннего и наружного колец.

В этом случае **диаметр ролика** определяется по формуле

$$d_p = \frac{D_1 - d_1}{2}.$$

Диаметр окружности по центрам роликов

$$D_o = \frac{d_1 + D_1}{2}.$$

Число роликов z при использовании массивного сепаратора

$$z = \frac{\pi D_o}{k d_p},$$

где

$$k = \frac{1{,}19 d_p + 1{,}7}{d_p}$$

Для получения целого числа z разрешается уменьшать k до значения

$$k_{\min} = \frac{1{,}17 d_p + 1{,}7}{d_p}.$$

Длина ролика

$$l = \lambda d_p.$$

Величина λ обычно принимается равной 1, 1,5 или 2; иные значения допускаются реже.

б) Случай, когда заданы габаритные размеры подшипника d, D и B.

Диаметр окружности по центрам роликов определяется по формуле

$$D_o = \frac{d + D}{2}.$$

Диаметр ролика обычно определяется по формуле

$$d_p = \frac{(D - d)}{4}.$$

Для подшипников особо легких или сверхлегких серий

$$d_p = (0{,}2 \div 0{,}22)(D - d).$$

Диаметры дорожек качения внутреннего и наружного колец определяются по формулам

$$d_1 = D_o - d_p;$$

$$D_1 = D_o + d_p.$$

Диаметры d_1 и D_1 определяются с точностью до 0,1 *мм*.

Диаметр по бортам внутренних и наружных двухбортовых колец подшипников находят по формулам:

$$d_2 \approx d_1 + 0{,}45 d_p;$$

$$D_2 = D_1 - 0{,}45 d_p,$$

а диаметр по бортам внутренних и наружных однобортовых колец — по формулам:

$$d_2 \approx d_1 + 0{,}38 d_p;$$

$$D_2 \approx D_1 - 0{,}36 d_p.$$

Номинальная ширина E дорожек качения двухбортовых внутренних и наружных колец равна длине ролика:

$$E = l.$$

Ширина бортов внутренних и наружных колец подшипников определяется по формуле

$$a = \frac{B - E}{2}.$$

Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами, как правило, имеют сепаратор. Сепараторы могут быть штампованными из листа или массивными точеными. Последние могут быть составными (фиг. 20) или цельными (фиг. 21).

Составной точеный сепаратор обычно состоит из собственно сепаратора и сепараторной шайбы, скрепленных заклепками.

Гнезда под ролики выполняются цилиндрическими с диаметром

$$d_c = d_p + \varepsilon,$$

где ε — гарантийный зазор. В зависимости от диаметра ролика он колеблется в пределах 0,15—0,5 *мм*.

Длина цилиндрического гнезда равна

$$S = l + \varepsilon_1,$$

где ε_1 — гарантийный зазор. В зависимости от длины ролика, он колеблется в пределах 0,2—0,4 *мм*.

Гнезда цельного сепаратора выполняются прямоугольной формы со сторонами, равными диаметру и длине ролика, и гарантированными зазорами в пределах 0,15—0,5 *мм*.

Массивные сепараторы обычно направляются двухбортовыми кольцами. При этом зазор между бортами колец и направляемой поверхностью сепаратора колеблется в пределах 0,2—0,5 *мм* и достигает 1,0 *мм* при больших размерах подшипника.

Для роликоподшипников без сепаратора количество роликов z подсчитывается таким образом, чтобы суммарный зазор между ними лежал в пределах 1—1,5 *мм*, но не превышал половины диаметра ролика.

$$z \approx \frac{\pi D_0}{d_p}.$$

Игольчатые роликоподшипники с массивными кольцами (ГОСТ 4657-60)

Общий вид подшипника и детали показаны на фиг. 22—25.

Игольчатые ролики имеют обычно сферические торцы. Ролики стандартизованы ГОСТ 6870-54 (фиг. 25).

Габаритные размеры игольчатых подшипников должны соответствовать нормальным габаритным рядам (ГОСТ 3478-54).

Иглы изготовляются в пределах диаметров $d_{иг} = 1{,}6 \div 5$ *мм*. Отношение длины иглы к диаметру принимают $\frac{l_{иг}}{d_{иг}} = 4 \div 10$.

Диаметры игл могут быть определены из отношения:

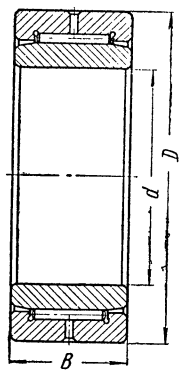
для сверхлегких серий

$$\frac{d_{иг}}{D - d} = 0{,}15 \div 0{,}1;$$

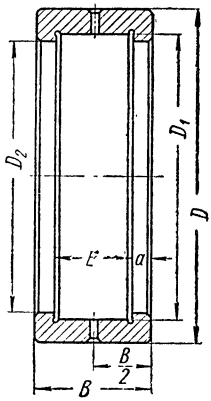
для особо легких серий

$$\frac{d_{иг}}{D - d} = 0{,}13 \div 0{,}08.$$

Бо́льшие величины отношения относятся к меньшим по габаритам подшипникам, а меньшие величины — к большим.



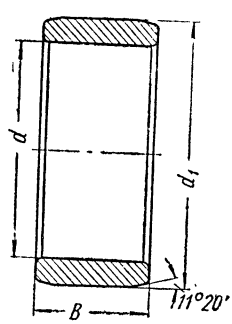
Фиг. 22. Игольчатый роликоподшипник.



Фиг. 23. Наружное кольцо игольчатого роликоподшипника.

Диаметры d_1 и D_1 дорожки качения соответственно для внутренних и наружных колец определяют по формулам:

$$d_1 = D_0 - d_{иг}, \quad D_1 = D_0 + d_{иг} + g,$$

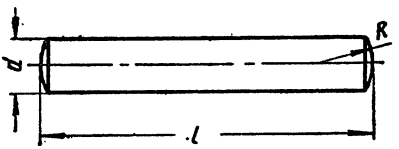


Фиг. 24. Внутреннее кольцо игольчатого роликоподшипника.

где g — расчетный радиальный зазор (фиг. 26).

Для подшипников с небольшим количеством игл ($z = 40 \div 80$) диаметр D_0 определяют по формуле

$$D_0 = \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{z} (d_{ие} + 0{,}025).$$

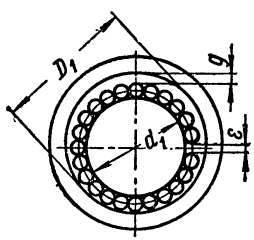


Фиг. 25. Игольчатый ролик.

Для подшипников с большим числом игл (фиг. 26).

$$D_0 = \frac{\left\{\operatorname{cosec}\left(\frac{180}{z}\right) d_{ие}\pi\right\} + \varepsilon}{\pi},$$

где ε — окружной зазор, т. е. зазор между первой и последней иглами, когда все иглы в комплекте сдвинуты вплотную.



Фиг. 26. Зазоры в игольчатом подшипнике.

Этот зазор должен быть не более $^1/_2$ диаметра игольчатого ролика, чтобы избежать перекоса игл в эксплуатации (смещения их по винтовой линии в пределах радиального зазора), что вызывает быстрый износ торцов колец, в которые упираются игольчатые ролики.

Рекомендуется при малых размерах игл, и особенно при больших числах оборотов, принимать такой диаметр дорожки качения внутреннего кольца, при котором суммарный межигольный окружной зазор по диаметру центров роликов был бы равен 0,5 *мм*.

При небольших числах оборотов или при колебательном движении для более крупных подшипников суммарный межигольный зазор может быть и бо́льшим — от 0,5 до 0,7 d.

Игольчатые ролики изготовляются с отклонениями по диаметру $d_{-0{,}01}$ *мм*; по длине $l^{-0{,}2}_{-0{,}4}$ *мм*.

Ролики сортируются на группы по диаметрам. В каждой сортировочной группе разность между наибольшими и наименьшими диаметрами игольчатых роликов не должна превышать 0,005 *мм*. Овальность и конусность игл не должна превышать 0,003 *мм*. Ширина дорожки качения наружного кольца E равна длине игл

$$E = l_{ие}.$$

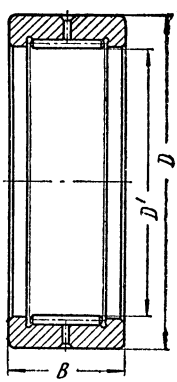
Высота бортов кольца $\frac{D_1 - D_2}{2}$ примерно равна 0,8 $d_{ие}$.

Осевая игра игольчатых роликов по дорожке качения не должна превышать 0,2—0,5 *мм*.

Диаметр дорожки качения внутренних колец выполняется по 2-му классу точности ОСТ 1022 (отклонение вала B), наружных колец — также по 2-му классу точности ОСТ 1022 (ходовая посадка X).

Игольчатые роликоподшипники могут быть изготовлены и без внутреннего кольца (фиг. 27). В этом случае дорожкой качения для игл служит поверхность вала, которая должна быть термически обработана на твердость не ниже *HRC* 60. Чистота дорожки качения должна быть не ниже 8-го класса по ГОСТ 2789-59.

Радиальный зазор в комплектных подшипниках или в подшипниках без внутреннего кольца (с иглами на валу) рекомендуется выдерживать в пределах, указанных в табл. 7.



Фиг 27. Игольчатый роликоподшипник без внутреннего кольца.

7. Радиальные зазоры комплектных игольчатых подшипников

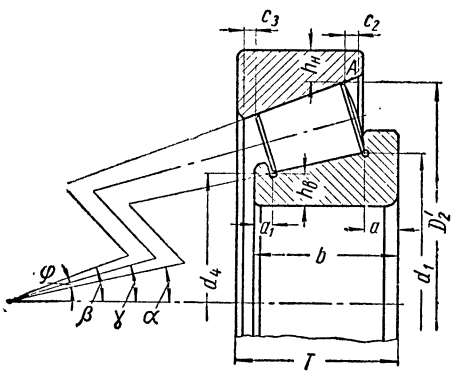
Внутренний диаметр подшипника (вала) в *мм*		Радиальный зазор в подшипнике в *мк*	
Свыше	До	Наим.	Наиб
18	30	20	65
30	40	25	70
40	50	30	75
50	80	30	85
80	120	40	105
120	160	50	125
160	200	60	135
200	250	100	180
250	315	120	200
315	400	130	220

Для игольчатых роликоподшипников, работающих с небольшими числами оборотов (v до 1 *м/сек*) или при колебательных движениях могут быть рекомендованы меньшие величины зазоров. При очень больших числах оборотов следует принимать бо́льшие величины зазоров.

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ КОНИЧЕСКИХ И СФЕРИЧЕСКИХ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

Конические роликоподшипники

Основным требованием при конструировании конических роликоподшипников является совпадение вершин углов β, γ, α, φ (см. фиг. 28) в одной точке, лежащей на оси подшипника, где β — угол



Фиг. 28. Конструктивная схема конического роликоподшипника.

наклона образующей дорожки качения наружного кольца к его оси; φ — угол наклона образующей конического ролика к его оси; — угол наклона образующей дорожки качения внутреннего кольца к его оси: γ — угол наклона оси ролика к оси подшипника.

Угол β определяет осевую грузоподъемность конического роликоподшипника.

Оптимальная величина угла β может быть определена, если известны действующие радиальные и осевые нагрузки (см. гл. IV. Выбор подшипников качения).

Опыт эксплуатации конических подшипников показал, что они наиболее удовлетворительно работают при углах $\beta = 9 \div 17°$.

Если проектируемый подшипник предназначен для работы при преобладающей осевой нагрузке, то угол β должен быть увеличен до 25° и более, но не свыше 30°. Такие подшипники стандартизованы ГОСТ 7260-54.

По выбранному углу β определяют угол ролика, а именно:

$$\varphi = \arcsin \frac{d_p \sin \beta}{D - 2k_1 (D - d)},$$

где $d_p = (0{,}22 \div 0{,}26)\ (D - d)$ — наибольший диаметр ролика.

Наименьшая величина коэффициента принимается для подшипников высокоскоростных, особо легкой и сверхлегкой серий.

$k_1 = 0{,}09 \div 0{,}11$ для всех подшипников за исключением подшипников легких и средних серий, имеющих d до 120 *мм*; для последних $k_1 = 0{,}08$ — это коэффициент, учитывающий наименьшую допускаемую толщину наружных колец ($h_н$) в их рабочей части, т. е. в точках соприкасания с краями роликов по наибольшему диаметру роликов.

Значения угла φ нормализованы, поэтому по выбранному нормальному значению φ следует проверить величину угла β по формуле

$$\beta = \arcsin \frac{[D - 2k_1 (D - d)]}{d_p} \sin \varphi.$$

Если при проверке величина β выходит за указанные пределы, то следует изменить в допускаемых пределах значение k_1 или величину угла φ, или диаметр ролика.

Углы γ и α определяются соответственно по формулам:

$$\gamma = \beta - \varphi; \quad \alpha = \beta - 2\varphi.$$

Вторым требованием при проектировании конических подшипников является равенство величин $h_н$ и $h_в$. Если эти величины не могут быть равны, то рекомендуется выбирать $h_в > h_н$, так как условия работы внутренних колец в большинстве случаев более тяжелые, чем наружных.

В исключительных случаях допускается разница между толщинами колец $h_в$ и $h_н$ до 15%.

При значительной разнице в толщине колец ее необходимо уровнять за счет изменения углов и диаметра ролика.

Определение длины ролика. Длина конического ролика (без высоты сферы торца)

$$l = \left(\frac{F}{\cos \alpha} - \varepsilon \right) \cos \varphi,$$

где $F = b - a - a_1$ — проекция ширины дорожки качения внутреннего кольца на ось подшипника; ε — зазор между торцом ролика и малым бортиком кольца, принимаемый равным в зависимости от диаметра ролика от 0,4 до 1,2 *мм* ($\varepsilon \approx 0{,}01 d_p$); b — ширина внутреннего кольца (см. ГОСТ 3578-54); $a = (0{,}08 \div 0{,}11)(D - d)$ — толщина упорного бортика внутреннего кольца; $a_1 = (0{,}06 \div 0{,}07)(D - d)$ — толщина малого бортика внутреннего кольца.

Большие величины числовых коэффициентов рекомендуется для особо легких и сверхлегких серий конических подшипников.

Определение количества роликов:

а) Подшипники со штампованным сепаратором.

$$z = k\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varphi} - \cos\gamma\right).$$

В табл. 8 приведены значения коэффициента k.

8. Таблица коэффициентов k

Значения $D - d$		Сверхлегкие серии	Все прочие серии
Свыше	До		
—	30	2,3	2,415
30	50	2,415	2,415
50	80	2,415	2,512
80	120	2,512	2,617
120	180	2,617	2,617
180	260	—	2,617

б) Подшипники с сепараторами на распорках.

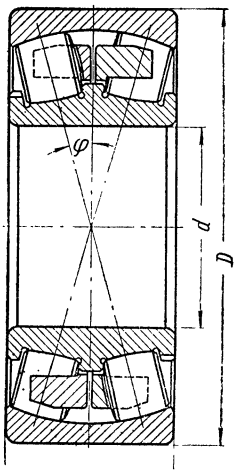
$$z = \frac{\pi d_p}{d_p + 3}\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varphi} - \cos\gamma\right) \text{ при } d_p \leqslant 80 \text{ мм}$$

$$z = \frac{\pi d_p}{d_p + 5}\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varphi} - \cos\gamma\right) \text{ при } d_p > 80 \text{ мм}.$$

Радиальные двухрядные сферические роликоподшипники

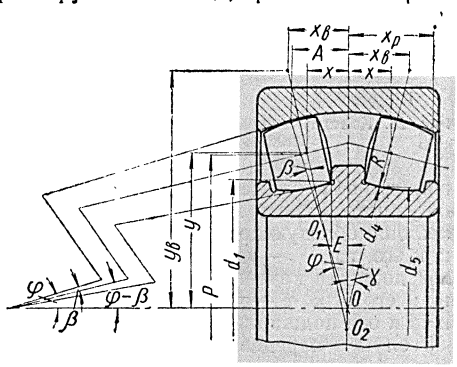
Конструкция роликовых радиальных двухрядных сферических подшипников, принятая подшипниковыми заводами на серийное производство, показана на фиг. 29, а схема для расчета этих подшипников — на фиг. 30.

Наилучшее использование габаритов подшипника получается при расположении точки касания роликов с наружным кольцом на расстоянии A (фиг. 30) от середины ширины подшипника.



Фиг. 29. Радиальный двухрядный сферический роликоподшипник.

Для легкой широкой серии $A = 0{,}32\,B$.
Для средней широкой серии $A = 0{,}33B$.
Угол φ, образованный радиусом сферы наружного кольца, проходящим через



Фиг. 30. Конструктивная схема радиального двухрядного сферического роликоподшипника.

точку касания ее с роликом и перпендикуляром к оси подшипника, определяется по формуле

$$\varphi = \arcsin\frac{2A}{D_1}.$$

Для легкой широкой и средней широкой серии диаметр сферы $D_1 \approx 0{,}9D$.

Наибольший диаметр ролика определяется в зависимости от разности габаритных диаметров по формуле

$$d_p = k(D - d) + q.$$

Длина ролика определяется в зависимости от ширины подшипника по формуле

$$l = 0{,}36B,$$

а диаметр окружности центров роликов

$$D_0 = (D_1 - d_p)\cos\varphi.$$

Число роликов в одном ряду

$$z = \frac{\pi D_0}{1{,}2d_p}.$$

Для получения четного числа роликов коэффициент 1,2 разрешается уменьшать до 1,16.

В табл. 9 приведены значения коэффициента k и величины q.

9. Значения коэффициента k и величины q

Значения	Легкая широкая серия		Средняя широкая серия	
	при $D - d$			
	До 110	Св. 110	До 150	Св. 150
k	0,3	0,21	0,27	0,2
q	−4	+5,8	0	+8

Глава XII

ИСПЫТАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

ВИДЫ КОНТРОЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ПОДШИПНИКОВ

В подшипниковой промышленности и у некоторых потребителей в целях подтверждения расчетных и установления фактических параметров и проверки эксплуатационных качеств подшипников качения проводятся измерения и испытания комплектных (собранных) подшипников и их деталей.

Измеряются:

1. Радиальная и осевая игра комплектных подшипников.

2. Выступание торцов колец радиально-упорных подшипников при их сдваивании.

3. Геометрические параметры подшипников, оговоренные в технических условиях ГОСТ 520-55 или специальных ТУ.

4. Вес деталей подшипников.

5. Проводятся металлографические исследования деталей предварительно разобранных подшипников.

6. Детали подшипников качения контролируются на контактную выносливость на машинах МИД и им подобных.

7. Комплектные подшипники — на интенсивность создаваемых ими шума и вибраций с получением частотных спектров.

8. Комплектные подшипники проверяются в целях установления предельной разрушающей их нагрузки (под прессом) с закреплением подшипника на жесткой оправке на двух опорах с нагружением сверху башмаком, охватывающими половину наружного кольца, с передачей нагрузки центрально через шар.

9. Проверяется статическая грузоподъемность элементов, вырезанных из подшипников качения, с определением контактной деформации (осадки) с помощью микрокатора или датчика.

10. «Момент трогания» или статический момент трения комплектного подшипника определяется под заданной нагрузкой (см. гл. XIII «Потери на трение в подшипниках качения»).

11. Момент трения подшипника контролируется также под заданной нагрузкой при малой скорости вращения

12. Момент трения подшипникового узла при значительной скорости вращения определяется по методу «выбега» или иным способом.

13. Тензометрические или иные методы используют для контроля распределения нагрузки между телами качения в комплектном подшипнике.

14. Комплектные подшипники испытываются на долговечность под заданной нагрузкой при определенной скорости вращения и смазке.

15. Температурный режим подшипника при разных нагрузках, скоростях и способах смазки контролируется на стендах.

16. Подшипники качения на предельную быстроходность испытываются на стендах или в узлах потребителей.

17. Сроки службы подшипников изучаются в конкретных производственных условиях для определения их рабочих ресурсов или норм расхода подшипников в данном узле.

18. Подшипники проверяются на потерю точности вращения.

19. Контролируется эффективность подшипниковых уплотнений.

ЦЕЛЬ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Задачей лабораторных испытаний является установление в короткий срок фактической долговечности подшипников данного типа при заданном рабочем режиме и изучение характера и причин выхода их из строя.

Проведение испытаний в эксплуатационных условиях связано с трудностями учета дополнительных факторов, влияющих на срок службы подшипников (дефекты монтажа, несоответствие качества, количества и периодичности смазки, переменность режима работы, неблагоприятные конструктивные особенности узлов, в которых установлены подшипники, не-

возможность осуществления некоторых измерений и т. п.).

При стендовых испытаниях эти неблагоприятные условия могут быть полностью или в значительной мере устранены.

Для этих целей созданы и введены в эксплуатацию различные конструкции испытательных машин, которые дают возможность проводить исследование долговечности подшипников в широком диапазоне режимов и в соответствии с установленной методикой. Методика регламентирует условия проведения испытаний, характер подготовительных работ (отбор и подготовку образцов), обработку и оформление результатов испытаний. Методикой устанавливаются испытания трех видов:

1. Полные испытания на долговечность с целью уточнения расчетных параметров и коэффициентов работоспособности подшипников данного типоразмера.

2. Контрольные испытания для сравнительной оценки качества продукции, выпускаемой подшипниковыми заводами.

3. Специальные испытания для проверки материалов или тех или иных конструктивных и технологических особенностей определенных подшипников.

Для полных испытаний подшипники собираются из тщательно отобранных деталей в соответствии с требованиями ТУ и ГОСТ, с соблюдением необходимых зазоров, что исключает влияние дефектов материала, отклонений размеров и геометрической формы деталей и влияние их комплектовки на фактическую долговечность подшипников данной партии.

Для контрольных испытаний подшипники берутся непосредственно со сборки или со склада отдела сбыта завода-изготовителя Часть подшипников из отобранной партии разбирают и их детали подвергают металлографическому анализу, проверке на отсутствие ожогов и закалочных трещин.

Режимы стендовых испытаний устанавливаются в соответствии с типом, конструкцией и размерами испытуемых подшипников.

Для ускорения стендовых испытаний нагрузки и числа оборотов для испытуемых подшипников подбираются таким образом, чтобы их теоретическая расчетная долговечность была в пределах 200—500 час., а число оборотов в минуту n составляло бы 0,4—0,6 от предельно-допустимого (по каталогу) числа оборотов n_{max} для данного типоразмера подшипника.

Установившаяся рабочая температура наружного кольца подшипника при испытаниях не должна превышать 70—90°.

Расчетная долговечность h подшипников в часах определяется по формуле

$$\lg h = \frac{10}{3}(\lg C - \lg Q) - \lg n.$$

При испытании радиальных подшипников под радиальной нагрузкой, условная нагрузка $Q = R$, где R — радиальная нагрузка на подшипник; при испытании тех же подшипников под комбинированной нагрузкой (радиальной R и осевой A) условная нагрузка рассчитывается по формуле

$$Q = R + mA.$$

Учитывая довольно широкий диапазон углов контакта β радиально-упорных шарико- и роликоподшипников, осевая нагрузка на подшипник A обычно принимается $A = 0{,}25\ R$ при $\beta < 20°$; $A = 0{,}5\ R$ при $\beta > 20°$.

При расчете на долговечность необходимо также учитывать осевую составляющую S от радиальной нагрузки R, — поэтому действующее на подшипник при испытании осевое усилие будет равно

$$A' = A + S'.$$

Значения предельных чисел оборотов n_{max} и коэффициентов работоспособности C для подшипников отечественного производства берут по действующему каталогу.

Существенное влияние на долговечность подшипников имеют волнистость и чистота отделки дорожек и тел качения, геометрия их поверхностей, качество металла и его термообработка, качество монтажа подшипника, перекосы и несоосность посадочных мест, качество и режим смазки, температура и влажность окружающей среды, наличие вибраций стенда.

Все эти факторы вызывают соответствующее рассеяние долговечности подшипников испытываемой партии. Установлено, что при нормальных условиях испытаний коэффициент рассеяния $K_p = \frac{h_{max}}{h_{min}}$ не превышает 20—40. В лучшем случае $K_p = 8 \div 12$. При обработке результатов стендовых испытаний проводится всесторонний анализ поврежденных и изношенных деталей подшипников, на основании которого устанавливается причина выхода их из строя. Основной

причиной повреждения подшипника при стендовых испытаниях является усталостное разрушение металла на дорожках или телах качения.

Обработка результатов стендовых испытаний

Для каждой партии подшипников, испытанных на стендах, устанавливаются следующие показатели:

1. Гарантированная долговечность — фактическая долговечность в часах, которую превысили 90% подшипников данной партии при постоянных условиях испытаний, с учетом только тех подшипников, которые вышли из строя по признаку усталости металла.

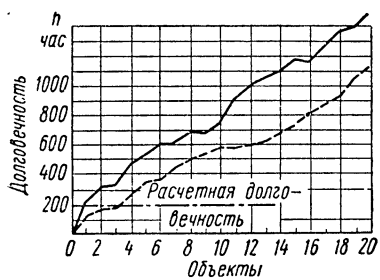
2. Средняя долговечность — среднеарифметическое значение фактической долговечности всех подшипников в испытанной партии

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{n}.$$

3. Коэффициент рассеяния долговечности определяется по формуле

$$K_p = \frac{h_{max}}{h_{min}},$$

где h_{max} и h_{min} — соответственно наибольшая и наименьшая долговечность подшипников испытанной партии.



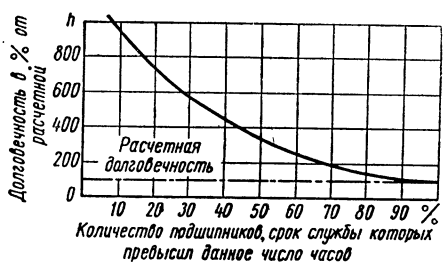
Фиг. 1. Результаты испытаний двух партий подшипников. Кривые построены в порядке возрастания долговечности объектов испытаний.

4. Коэффициент эксплуатационной стойкости C_T, т. е. процентное отношение числа подшипников, отработавших срок службы, превышающий расчетную долговечность, к общему количеству подшипников в данной партии.

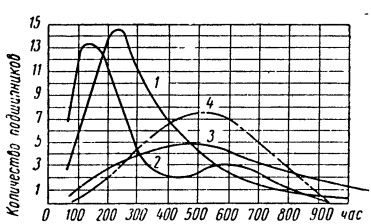
$$C_T = \frac{i - i_h}{i} 100,$$

где C_T — коэффициент стойкости в %; i — количество испытанных подшипников в данной партии; i_h — количество подшипников, не выстоявших расчетной долговечности.

По результатам испытаний строятся графики фактической долговечности подшипников в виде нарастающих или падающих кривых (фиг. 1 и 2) и кривые рассеяния долговечности (фиг. 3).



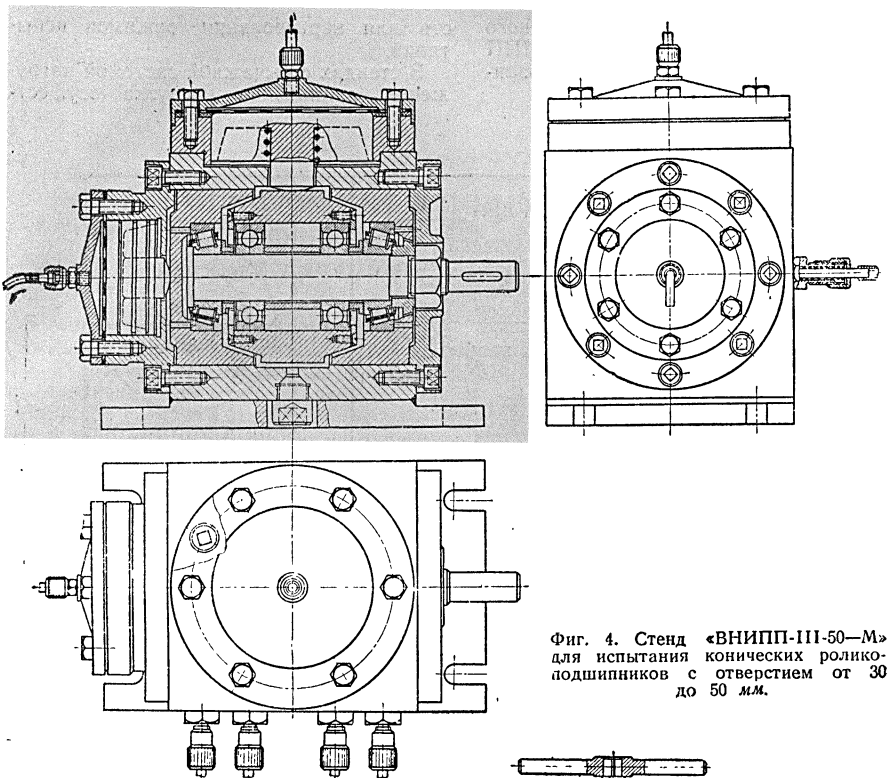
Фиг. 2. Кривая падения сроков службы для партии испытанных подшипников.



Фиг. 3. Кривые рассеяния долговечности подшипников при стендовых испытаниях: *1—3* — кривые рассеяния долговечности трех партий подшипников; *4* — оптимальная кривая рассеяния долговечности.

Конструкции испытательных стендов

Основными требованиями, предъявляемыми к стендам для испытания подшипников являются: жесткость их конструкции, обеспечение постоянства и точности числа оборотов, а также радиальной и осевой нагрузок на подшипники в процессе испытания, возможность регулировки нагрузок и скорости вращения в определенном диапазоне.



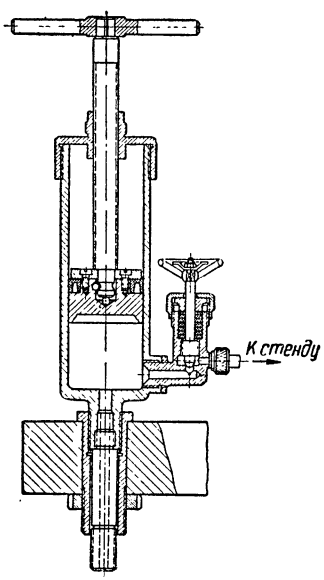
Фиг. 4. Стенд «ВНИПП-III-50—М» для испытания конических роликоподшипников с отверстием от 30 до 50 *мм*.

Стенд должен обеспечивать также возможность измерения рабочей температуры невращающихся колец подшипников термометрами или термопарами, а в некоторых случаях автоматическое отключение стенда при повреждении одного из подшипников. Размеры, соосность и точность посадочных мест под подшипники стенда должны соответствовать требованиям ГОСТ 3325-55. Прочие требования к стенду определяются временными техническими условиями на стенды, разработанными ВНИППом.

Наиболее распространены стенды с гидравлическим и рычажным нагружением испытуемых подшипников.

На фиг. 4 показана конструкция стенда с гидравлическим нагружением.

Заданная скорость вращения вала осуществляется подбором сменных шкивов на приводе и электродвигателе. Примерная мощность электродвигателя при испытании четырех подшипников с наружным диаметром до 120 *мм* составляет 2,5 — 3 *квт*.

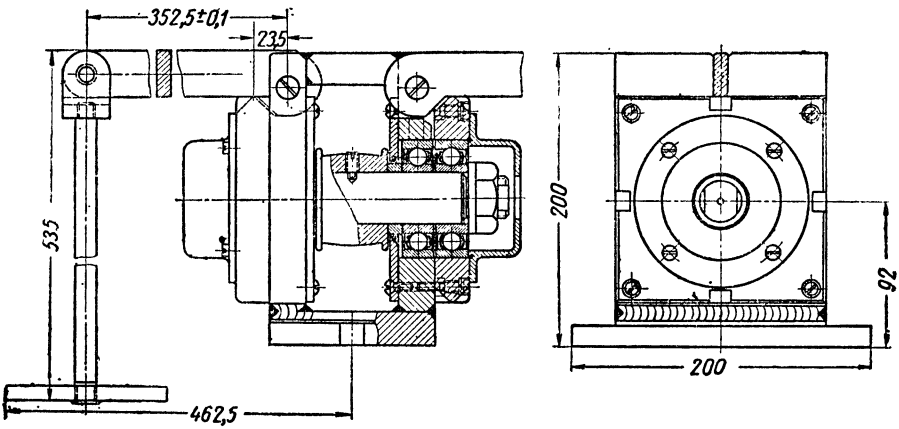


Фиг. 5. Гидравлическое нагружающее приспособление.

Удачные конструкции стендов данного типа: «ЦКБ-13К», «ЦКБ-44», «ВНИПП ХП-51» и «ВНИПП-Ш-50М», показанная на фиг. 4.

сти для варьирования режимов испытаний.

В стендах с рычажной системой нагружения радиальная нагрузка осущест-



Фиг. 6. Стенд «ВНИПП-IV-50» для испытания однорядных радиальных шарикоподшипников 307 и других, одногабаритных с ними, под радиальной нагрузкой.

Радиальное и осевое нагружение гидравлических стендов осуществляется ручными винтовыми поршневыми насосами (фиг. 5), посредством которых создается необходимое давление масла (без гидравлического аккумулятора).

Давление масла, поступающего в гидроцилиндр, контролируется манометром, расположенным на плите около корпуса стенда. Бесступенчатая регулировка нагрузки обеспечивает широкие возможно-

вляется грузами через рычаги и передается на консольные испытуемые подшипники (фиг. 6), осевая же нагрузка на них обычно осуществляется пружинами.

Технология изготовления рычажных стендов несложна, монтаж и демонтаж их просты.

На каждом стенде посредством различных заранее подготовляемых наладок можно обеспечить испытания целой группы подшипников, близких по габаритным размерам.

Глава XIII

ПОТЕРИ НА ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

ПРИРОДА ТРЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

В современных машинах и особенно в приборах трение в опорах является одним из важнейших факторов, зачастую определяющим качество их работы.

Вопросы трения в подшипниках качения в должной мере еще не разработаны и поэтому здесь излагаются лишь некоторые теоретические предпосылки и соображения, дающие основные представления о природе трения в подшипниках качения и практические рекомендации для приближенной оценки потерь на трение в этих подшипниках. Величина потерь на трение зависит от:

1) сопротивления чистому перекатыванию шариков по желобам колец;

2) трения скольжения на площадке контакта шариков с желобами колец;

3) трения скольжения в местах касания сепаратора с кольцом и шариками;

4) сопротивления сдвигу смазки между телами качения, между шариками и сепаратором, между сепаратором и кольцом.

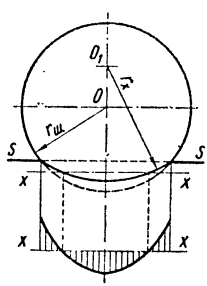
5) сопротивления воздуха при быстром вращении подшипника.

Теория трения качения Рейнольдса предполагает, что сопротивление качению связано с проскальзыванием поверхностей, ограниченных площадкой контакта перекатывающихся упругих тел (фиг. 1).

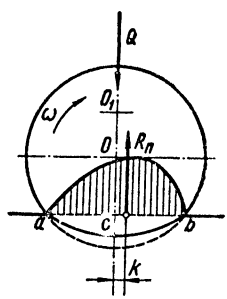
Из фиг. 1 видно, что качение шара по горизонтальной плоскости можно представить как поворот его вокруг мгновенной оси *xx*. Элементы контактных поверхностей шара и плоскости, расположенные выше и ниже этой оси, проскальзывают друг относительно друга. Направление относительной скорости элементов, расположенных выше мгновенной оси вращения, противоположно направлению относительной скорости элементов, расположенных ниже ее. Чистое качение имеет место лишь в точках контактных поверхностей, лежащих на мгновенной оси вращения.

Установив закон распределения напряжений и скоростей по всей площадке контакта, перекатывающихся тел можно определить энергию, затрачиваемую на проскальзывание.

Другая теория исходит из представления о несовершенной упругости реальных твердых тел или наличия упругого гистерезиса, при котором одной и той же деформации, при возрастании и убывании нагрузки, соответствуют различные напряжения. По этой теории, математически обоснованной А. Ю. Ишлинским,



Фиг. 1. Диаграмма относительных скоростей скольжения на площадке контакта перекатывающихся упругих тел.



Фиг. 2. Распределение напряжений по площадке контакта перекатывающихся тел.

распределение напряжений на площадке контакта перекатывающихся тел асимметрично относительно оси площадки контакта (фиг. 2), причем максимум сдвинут в сторону качения.

Главный вектор давлений на поверхности контакта оказывается смещенным из точки *c* на величину *k*, численно равную коэффициенту трения качения.

Третья молекулярная теория трения качения, наиболее полно разработанная Б. В. Дерягиным, рассматривает внешнее трение как взаимодействие (притяжение и отталкивание) молекулярных сил перекатывающихся тел.

Наконец, четвертая теория, выдвинутая Д. Б. Конвисаровым, предполагает действие на площадке контакта трех групп сил различного происхождения,

т. е. проскальзывания, упругого гистерезиса и молекулярных сил, иными словами, эта теория предполагает действие всех трех указанных выше факторов одновременно.

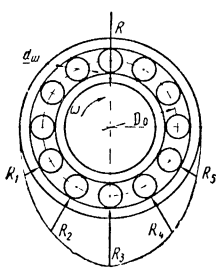
Поскольку перечисленные теории трения качения имеют под собой определенную теоретическую и экспериментальную базу, нужно полагать, что все эти явления будут иметь место при качении реальных упругих тел.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ

Радиальные однорядные шариковые и роликовые подшипники. При нормальных числах оборотов в минуту момент сопротивления вращению или момент трения может быть определен по формуле

$$M = 1{,}3\,KR\frac{D_0}{d_ш}\ Гсм,$$

где K — коэффициент трения качения; R — радиальная нагрузка на подшипник в $Г$ (фиг. 3); D_0 — диаметр окружности расположения центров шариков в *см*; $d_ш$ — диаметр шарика в *см*.



Фиг. 3. Диаграмма распределения нагрузок на шарики при радиальной нагрузке на подшипник.

При повышенных числах оборотов в минуту, с учетом сопротивления перекатыванию, вызываемого центробежными силами, и трения тел качения о сепаратор для случая, когда вращается внутреннее кольцо

$$M = 1{,}3\,KR\frac{D_0}{d_ш} + \frac{1}{2}\,KzF\,(1+f)\left(\frac{D_0}{d_ш}-1\right),$$

где F — центробежная сила; f — коэффициент трения скольжения шарика о гнездо сепаратора.

При вращении наружного кольца

$$M = 1{,}3\,KR\frac{d_0}{D_ш} + \frac{1}{2}\,KzF\left[(1/2+f)\left(\frac{D_0}{d_ш}+1\right)-1\right].$$

Центробежные силы F в $Г$ подсчитываются соответственно по формулам:

$$F = 5{,}7\cdot 10^{-6}\cdot n_в^2\, d_ш^3\,\frac{(D_0-d_ш)^2}{D_0};$$

$$F = 5{,}7\cdot 10^{-6}\cdot n_н^2\, d_ш^3\,\frac{(D_0+d_ш)^2}{D_0},$$

где $n_в$ и $n_н$ — число оборотов в минуту соответственно внутреннего и наружного кольца.

Центробежная сила, развиваемая одним роликом при вращении его относительно оси подшипника,

$$F = 8{,}56\cdot 10^{-6}\cdot n^2 d_p^2\, l_p\,\frac{(D_0 \pm d_p)^2}{D_0},$$

где d_p и l_p — соответственно диаметр и длина ролика.

При вращении наружного кольца принимают знак + и $n = n_н$, при вращении внутреннего кольца знак — и $n = n_в$.

В формулах линейные размеры подставляются в *см*.

Упорные шарикоподшипники. Момент, необходимый на преодоление трения качения и трения верчения для одного шарика,

$$M_п = K\frac{D_0}{d_ш}A_ш + \frac{3}{8}\,faA_шE\ Гсм.$$

Здесь $A_ш$ — нагрузка на шарик; E — полный эллиптический интеграл второго рода;

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}\,d\varphi;$$

$$e = \sqrt{1-\left(\frac{b}{a}\right)^2},$$

где a и b — соответственно большая и малая полуоси эллиптической площадки контакта шарика с желобом.

Для стандартных подшипников

$$a = 0{,}00226\sqrt[3]{A_ш d_ш};\quad E = 1{,}045.$$

Суммируя формулы по всем несущим шарикам, получим формулу для определения полного момента трения подшипника:

$$M = K\frac{D_o}{d_ш}\Sigma A_ш + $$

$$+ 0{,}886 \cdot 10^{-3} \cdot f \Sigma A_ш \sqrt[3]{A_ш d_ш}\ Гсм.$$

Для подшипников, нагруженных центральной осевой нагрузкой A,

$$M = KA\frac{D_o}{d_ш} + $$

$$+ 0{,}886 \cdot 10^{-3} \cdot fA \sqrt[3]{\frac{A}{z} d_ш}\ Гсм.$$

Следует иметь в виду, что приведенные формулы для ориентировочной оценки потерь на трение в указанных подшипниках не учитывают влияния на величину этих потерь изменения сопротивления в слое смазки при различных режимах работы подшипников, влияния неточности изготовления подшипников и подшипниковых узлов, приводящих к нарушению нормальной работы подшипников; влияния сепаратора и повышения трения в подшипнике за счет трения между гнездами сепаратора и шариками, между сепаратором и направляющими бортиками колец в случае центрирования сепаратора по последним и, наконец, проскальзывания шариков по желобу. Учесть влияние указанных факторов в настоящее время не представляется возможным в связи с недостаточной теоретической и экспериментальной разработкой этих вопросов.

Эмпирические формулы для оценки моментов трения. На практике для ориентировочной оценки потерь на трение пользуются эмпирическими формулами.

Для легконагруженных подшипников малых размеров, работающих при повышенных числах оборотов,

$$M = M_0 + 1{,}25KR\frac{D_o}{d_ш}\ Гсм,$$

где $M_0 \approx 4D_0$ — для радиальных шарикоподшипников; $M_0 \approx 6D_0$ — для сферических двухрядных радиальных шарикоподшипников; K, D_0 и $d_ш$ — в *см*; R — радиальная нагрузка в $Г$.

Для подшипников средних размеров при $n \geqslant 1000$ об/мин и умеренной смазке разбрызгиванием (преимущественно для коробок передач): $M = (0{,}05\,d + 0{,}001\,R)\frac{d}{2}\,кГсм$ — для шариковых подшипников и роликовых подшипников с цилиндрическими роликами; $M = (0{,}25d + 0{,}002\,R)\frac{d}{2}\,кГсм$ — для роликовых подшипников с коническими и сферическими роликами; d — диаметр отверстия подшипника в *см*; R — радиальная нагрузка в $кГ$.

При консистентной смазке или при масляной ванне коэффициент при первом слагаемом увеличивают в 1,5 раза.

Наиболее широкое распространение получила простейшая формула, применяемая обычно для подшипников, работающих при средних и тяжелых нагрузках,

$$M = f_{пр} P \frac{d}{2},$$

где $f_{пр}$ — приведенный к валу условный безразмерный коэффициент трения скольжения, определяемый экспериментально (см. табл. 2); P — нагрузка на подшипник в $кГ$.

ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ

В приведенных выше формулах для приближенной оценки потерь на трение можно принимать $K = 0{,}0005 \div 0{,}001$, причем верхнее значение K принимают при консистентной смазке, малых нагрузках, температурах и высоких скоростях вращения.

Из теории трения качения следует, что величина K зависит от кривизны перекатывающихся тел. Как показали эксперименты, проведенные с деталями подшипников малых размеров, смазанными жидким маслом, коэффициент трения качения шарика по желобу внутреннего кольца снижается в несколько раз при увеличении радиуса желоба с 0,51 $d_ш$ до 0,55 $d_ш$. При дальнейшем увеличении радиуса желоба коэффициент трения изменяется незначительно.

При оценке потерь мощности на трение в шариковых подшипниках малых габаритов с увеличенными радиусами желобов, коэффициент трения качения можно принимать равным $K = 0{,}0003 \div 0{,}0007$. Значения коэффициентов трения скольжения f и приведенного коэффициента трения $f_{пр}$ даны в табл. 1 и 2.

1. Значение безразмерного коэффициента трения скольжения f

Коэффициенты трения	Величина f
Коэффициент трения между шариком и желобом кольца	0,05—0,08
Коэффициент трения между шариком и сепаратором при материале сепаратора:	
текстолит	0,05—0,08
сталь	0,1—0,2
бронза	0,1—0,15
дюраль	0,12—0,18
латунь	0,12—0,18
чугун	0,05—0,15

2. Величина приведенного к валу условного безразмерного коэффициента трения скольжения $f_{пр}$

Тип подшипника	Величина $f_{пр}$
Шариковые радиальные однорядные	0,002—0,004
» радиально-упорные	0,003—0,005
» сферические двухрядные	0,002—0,003
» упорные	0,003—0,004
Роликовые с короткими цилиндрическими роликами	0,002—0,003
Роликовые с длинными цилиндрическими роликами	0,004—0,006
Роликовые конические	0,008—0,02
Роликовые двухрядные сферические (с бочкообразными роликами)	0,004—0,006
Игольчатые роликоподшипники	0,005—0,020

Известны данные о снижении $f_{пр}$ и механических потерь на трение более чем в 2 раза при увеличении радиуса желоба с 0,512 $d_ш$ до 0,54 $d_ш$ у подшипников с внутренним диаметром порядка 50 *мм*, работавших при числах оборотов до 20 000 в минуту.

В расчете осевых усилий, исключающих проскальзывание шариков, вызываемое гироскопическими эффектами при повышенных числах оборотов, величину коэффициента трения скольжения f между шариками и желобами колец следует принимать не более 0,02—0,03.

При выборе величины $f_{пр}$ по табл. 2 следует учитывать снижение этого коэффициента при увеличении нагрузки, снижении скорости вращения и вязкости масла.

При применении консистентных смазок и относительно малых нагрузках выбирают бо́льшие значения приведенного коэффициента трения. Для шариковых радиальных и радиально-упорных подшипников, работающих под осевой нагрузкой, принимают для коэффициента трения меньшие значения.

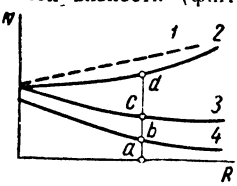
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДШИПНИКОВ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ НА ТРЕНИЕ

Момент трения M и мощность, затрачиваемая на преодоление трения в подшипниках $N = M = \omega_{(N)}$, прямо пропорциональны нагрузке на подшипники.

В реальных условиях зависимость момента или мощности, расходуемой на трение от нагрузки, отличается от такой закономерности *1* и характеризуется кривой *2* (фиг. 4).

С ростом нагрузки и мощности, расходуемой на трение, а также температуры подшипникового узла снижаются толщина слоя смазки в зоне контакта и вязкость смазки, что, в свою очередь, приводит к снижению величины коэффициента трения и соответственно к некоторому снижению потерь на трение.

Рассматривая потери мощности на трение в подшипниках как сумму потерь на трение качения шариков по желобам, потерь на трение шариков о сепаратор и потерь, связанных с наличием смазки определенной вязкости (фиг. 4), видно,



Фиг. 4. График изменения мощности трения в зависимости от нагрузки.

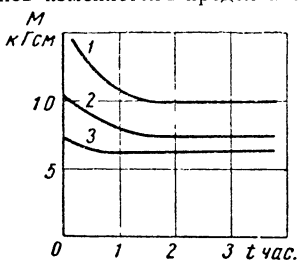
что с увеличением нагрузки первые потери заметно растут (ординаты, ограниченные кривыми *2* и *3* — отрезок *cd*), вторые же (отрезок, ограниченный кривыми *3* и *4*) изменяются мало и третьи (отрезок *ab*) снижаются. При расчетах момента трения это обстоятельство учитывается выбором той или иной величины коэффициента трения качения K или

приведенного коэффициента трения $f_{пр}$— большей для малых нагрузок и меньшей для больших.

Следует иметь в виду, что при высоких нагрузках возможен разрыв масляной пленки в месте контакта шарика с желобом кольца, что ведет к повышению потерь на трение и износу рабочих поверхностей подшипников.

Скорость вращения при нормальных числах оборотов мало влияет на момент трения.

При скоростях вращения, не превосходящих предельных, момент трения подшипников изменяется в пределах 5—20%,



Фиг. 5. График изменения момента трения подшипника в зависимости от нагрузки, числа оборотов и времени работы: *1* — при $R=620$ *кГ* и $n=1600$ *об/мин*; *2* — при $R=300$ *кГ* и $n\approx1200$ *об/мин*; *3* — при $R\approx140$ *кГ* и $n=200$ *об/мин*.

возрастая с увеличением скорости вращения.

Увеличение момента трения в подшипниках при высоких скоростях вращения объясняется возрастанием центробежных сил, пропорциональных квадрату чисел оборотов. Кроме того, момент трения увеличивается за счет увеличения потерь в смазке.

Статический момент трения в подшипниках качения выше момента трения при установившемся режиме работы на 30—50%.

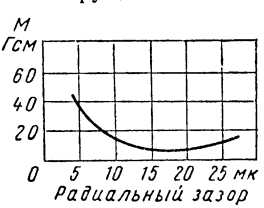
Для различных подшипников время от момента запуска до наступления установившегося режима работы различно и связано с величиной нагрузки, со скоростью вращения и тепловым режимом подшипникового узла. Для подшипников средних размеров это время равно $1\div4$ час.

Характер изменения момента трения от запуска до достижения установившегося режима показан на фиг. 5.

Как показывают эксперименты с подшипниками малых размеров, новые подшипники имеют момент трения на 5—10% больший по сравнению с подшипниками, проработавшими некоторое время и приработавшимися; при этом резко снижаются максимальные, пиковые значения моментов трения.

Увеличение диаметра шариков в подшипниках, работающих при нормальных скоростях вращения, когда можно пренебрегать влиянием их центробежных сил, дает снижение момента трения подшипника, но не в строгой пропорциональности, так как при этом несколько повышается коэффициент трения качения вследствие снижения контактных напряжений и увеличения толщины слоя смазки, что и следует учитывать при выборе соответствующего значения коэффициента трения качения K.

Из анализа распределения нагрузок на шарики видно, что с увеличением количества шариков арифметическая сумма их реакций возрастает, что ведет к соответственному увеличению момента трения. Этому способствуют также увеличение толщины слоя смазки и рост коэффициента трения, вызываемый снижением нагрузок на шарики, а также увеличением потерь в слое смазки при увеличении числа трущихся тел.



Фиг. 6. График изменения момента трения в зависимости от радиального зазора в подшипнике.

В быстроходных подшипниках момент трения дополнительно увеличивается за счет увеличения суммы центробежных сил, пропорциональной числу шариков.

При числе шариков менее пяти арифметическая сумма нагрузок на шарики за счет неблагоприятного их расположения значительно возрастает, что влечет за собой существенное увеличение момента трения и его неравномерности, связанной с расположением шариков. Поэтому подшипники, к которым предъявляются жесткие требования в части величины момента трения, следует выполнять с числом шаров не менее пяти. Подшипники

с бо́льшим числом шариков обладают более равномерным моментом трения.

По экспериментальным данным зависимость момента трения от радиального зазора подшипников при небольших радиальных нагрузках характеризуется диаграммой, представленной на фиг. 6.

Меньшие моменты трения получены при радиальных зазорах 0,010—0,025 *мм*. Подшипники малых размеров при высокой точности их изготовления позволяют получить зазоры 0,007—0,015 *мм* без заметного увеличения момента трения.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Определение трения в подшипниках качения наиболее важно для приборостроения, поэтому здесь излагаются методы и принципиальные схемы установок для определения трения в подшипниках с диаметром отверстия до 15 *мм*. Некоторые из приводимых методов и приборов могут применяться для определения трения и у подшипников качения больших габаритов. Для определения момента трения у подшипников качения, работающих в различных условиях, нет установившихся единых методов и приборов.

Создание такой аппаратуры осложняется большим разнообразием режимов эксплуатации, отсутствием необходимых закономерностей между моментами трения, определяемыми на приборах, и моментами трения в эксплуатационных режимах, трудностью выявления взаимного расположения деталей подшипников, при котором имеют место повышенные статические моменты трения.

При проектировании необходимо учитывать, что прибор для определения трения в подшипниках, кроме общих требований должен обеспечивать:

а) минимальную инерционность чувствительного элемента прибора, достаточно широкий диапазон и высокую точность измерений;

б) достаточную универсальность и простоту переналадки на другой размер подшипника;

в) высокую производительность и возможность механизации и автоматизации измерения для случаев массового контроля;

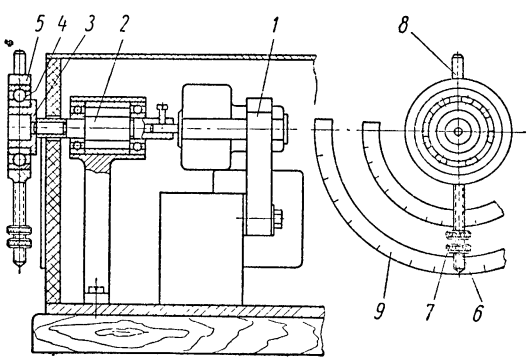
г) возможность определения трения в подшипниках для условий, близких к реальным — непосредственным измерением или путем пересчета;

д) возможность определения как статического, так и кинетического момента трения подшипников.

Прибор для определения кинетического момента трения подшипников при горизонтальном положении оси (ДМП). Принципиальная схема прибора, известного под названием «динамический маятниковый прибор» (ДМП) показана на фиг. 7. От электродвигателя *1* типа СД-2 через соответствующую передачу приводится во вращение валик *2* со скоростью 2 об/мин (прибор ДМП-2) или 20 об/мин (прибор ДМП-20).

На валике посажена сменная оправка *3*, на которой монтируется испытуемый подшипник *4*.

На наружном кольце подшипника укрепляется маятник, состоящий из хому-



Фиг. 7. Схема маятникового прибора ДМП для определения кинетического момента трения подшипника при горизонтальном положении оси.

тика *5*, указательной стрелки *6* с гайками *7* и балансировочного грузика *8*.

При вращении внутреннее кольцо испытуемого подшипника за счет трения увлекает за собой наружное кольцо с маятником, отклонение которого от нулевого положения, отсчитываемое по шкале *9*, будет происходить до тех пор, пока момент трения подшипника не будет уравновешен моментом, создаваемым маятником.

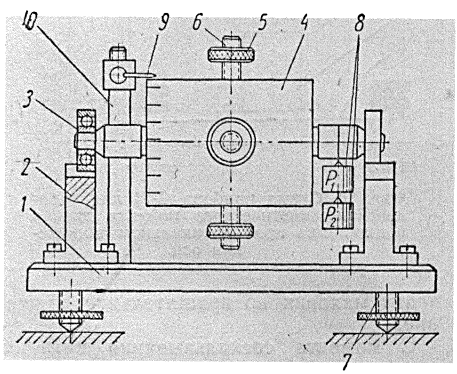
Величина момента трения определяется из уравнения

$$M = Pl \sin \alpha,$$

где P — вес гаек; l — расстояние от центра тяжести гаек до оси вращения; α — угол отклонения маятника от вертикального нулевого положения.

Момент трения на приборе определяется за 2—3 оборота внутреннего кольца подшипника.

Прибор для определения статического момента трения пары подшипников при горизонтальном положении оси (С-21). Принципиальная схема прибора приведена на фиг. 8. На основании *1* прибора укреплены призмы *2*, высота установки и соосность которых должны быть строго выдержаны.



Фиг. 8. Схема прибора С-21 для определения статического момента трения пары подшипников при горизонтальном положении оси.

Проверяемые подшипники *3* монтируются на цапфы вала *4* и устанавливаются на призмы *2*. Вес вала должен соответствовать требуемой нагрузке.

С помощью гаек *5*, расположенных на резьбовых шпильках *6*, производят статическую балансировку вала *4*. На накатанную шейку вала перекидывается эластичная (капроновая) нить, на концах которой подвешены два грузика *8* весом P_1 и P_2.

Момент трения определяется в отдельных точках за 2—2,5 оборота внутреннего кольца в одну и другую сторону вращения.

Разность в весе грузиков P_1 и P_2 определяется из условия

$$M = (P_1 - P_2)\frac{d}{2},$$

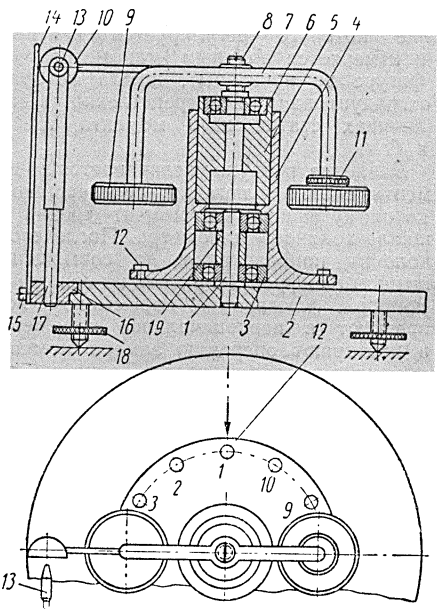
где M — допустимый момент трения; d — диаметр накатанной шейки вала.

Перед определением момента трения подшипников на данном приборе последний должен быть выверен по уровню посредством регулировочных винтов *7*.

В любом из положений, отмечаемых стрелкой *9*, по рискам, нанесенным на валике, последний из неподвижного состояния должен начать двигаться.

Стрелка *9* смонтирована на стойке *10*.

Прибор для определения статического момента трения при вертикальном положении оси подшипников (МДШ-1). Принципиальная схема прибора представлена на фиг. 9. На оси *1*, закрепленной в основании *2* прибора, смонтирована вращающаяся на подшипниках *3* колонка *4*.



Фиг. 9. Схема прибора МДШ-1 для определения статического момента трения подшипника при вертикальном положении оси.

В колонке устанавливается гильза *5* с посадочным местом под контролируемый подшипник *6*.

На внутреннее кольцо подшипника устанавливается коромысло *7*, имеющее сферическую, коническую или цилиндрическую ось *8*, грузы *9*, создающие осевую нагрузку на подшипники, флюгарку *10* и груз *11*.

На фланце колонки в отверстиях, расположенных по окружности на равных расстояниях друг от друга, запрессованы штифты *12* с нанесенными на их торцах цифрами последовательно от 1 до 10.

После установки контролируемого подшипника и коромысла колонка поворачивается до совмещения штифта с цифрой 1 с риской, нанесенной на основании прибора.

К флюгарке подводится сопло *13* таким образом, чтобы торец флюгарки совпадал с нулевым делением шкалы *14*, укрепленной винтами *15* на подвижном кольце *16*.

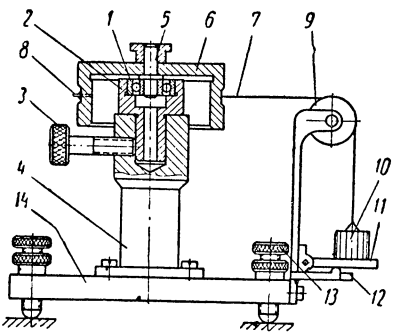
Через сопло подается воздух, давление которого регулируется вентилем и измеряется водяным манометром (на фигуре не показаны), шкала которого отградуирована непосредственно в величинах статического момента трения в *Гсм*.

Давление воздуха увеличивается до момента сдвига флюгарки, соответственно которому фиксируют момент трения по шкале водяного манометра. После этого колонку поворачивают до совмещения штифта с цифрой 2 с риской на основании прибора, флюгарку с коромыслом возвращают в первоначальное положение и повторяют операцию замера момента трения для второй точки. Такие замеры повторяются для всех точек. Перед замерами момента трения прибор должен быть установлен в горизонтальное положение по уровню винтами *18*. Для градуировки шкалы водяного манометра используются точные аналитические весы, посредством которых определяется сила давления (в *Г*) струи воздуха, выходящего из сопла при различных давлениях его в воздухопроводе, замеряемая манометром.

Произведение силы давления (в *Г*), создаваемого струей воздуха на расстояние (в *см*) от центра флюгарки до оси вращения подшипника, дает величину момента, который и отмечается на шкале манометра. Таким образом градуируется вся шкала прибора.

Прибор для определения кинетического момента трения при вертикальном положении оси подшипника (С-24). Принципиальная схема прибора представлена на фиг. 10. Контролируемый подшипник *1* монтируется в гильзу *2*, укрепленную стопорным винтом *3* в колонке *4* прибора. На внутреннее кольцо подшипника на оси *5* укрепляется маховик *6*.

На маховик наматывается нить *7* на один оборот. Один конец нити петлей накидывается на штифт *8*, а к второму концу, перекинутому через блок *9*, прикрепляется грузик *10*, устанавливаемый на площадке *11*, фиксируемой пружинной защелкой *12*. После этого защелка откидывается и грузик силой тяжести приводит маховик во вращательное движение.



Фиг. 10. Схема прибора С-24 для определения кинетического момента трения подшипника при вертикальном положении оси.

С момента соскальзывания нити со штифта маховичка последний свободно вращается, с замедлением, пропорциональным трению в подшипнике.

Зафиксировав время вращения и число оборотов маховичка до его остановки, определяют момент трения подшипника по формуле

$$M = \frac{4\pi In}{T^2},$$

где I — момент инерции маховичка относительно оси вращения; n — число оборотов свободного выбега маховичка; T — время свободного выбега маховичка в мин.

Пренебрегая влиянием момента трения подшипника на величину импульса, сообщаемого маховику, это уравнение можно значительно упростить, приведя к виду:

$$M = \frac{C}{T}, \quad C = I\sqrt{2\varphi\frac{PRg}{Ig + PR^2}}.$$

Здесь φ — угол, под которым нить наматывается на маховик; R — радиус маховика; g — ускорение силы тяжести; P — вес грузика.

В этом случае отсчитывают лишь время свободного выбега. Момент трения подшипников можно определить также из уравнения

$$M = 4\pi I (\omega_1 - \omega_2) \frac{1}{T}.$$

Из уравнения видно, что при определенной начальной и конечной скорости вращения маховика момент трения обратно пропорционален времени, за которое произошло снижение скорости от ω_1 до ω_2. На этом принципе 4ГПЗ разработан магнитно-индукционный полуавтомат (МИП) для определения величины момента трения подшипников. Полуавтоматы МИП просты в эксплуатации, обладают высокой производительностью и допускают обслуживание нескольких полуавтоматов одним контролером.

В формулах принято допущение, что величина момента трения в подшипнике не зависит от скорости вращения, вследствие чего этот метод может быть применен только при небольших скоростях вращения.

Прибор перед проверкой момента трения подшипников должен быть установлен по уровню с помощью винтов *13*, ввернутых в основание прибора *14*.

Глава XIV

ИЗНОС ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Износ и динамическая прочность деталей подшипников зависят от физического состояния поверхностного слоя, которое для стали характеризуется микрогеометрией, структурой, степенью упрочнения и остаточными напряжениями.

Понятие микрогеометрия включает поперечную и продольную шероховатость, направление неровностей и волнистость.

Структура поверхностного слоя характеризуется степенью его изменения по сравнению с основным металлом. Остаточные напряжения бывают первого, второго и третьего рода [4], по ним оценивается величина напряженности поверхностного слоя.

Изменения состояния поверхностных слоев зависят от условий механической, термической и термохимической обработок. На свойства поверхностных слоев оказывают влияние не только окончательные операции механической обработки, но и промежуточные; поэтому оценивать каждую операцию обработки нужно с учетом ее влияния на свойства поверхностного слоя деталей подшипников.

Исследованиями остаточных напряжений в поверхностном слое стали после точения, шлифования и полирования доказана возможность управления процессом резания с целью получения в поверхностном слое остаточных напряжений заданной величины и знака. Это существенно важно для выбора метода и режима механической обработки, обеспечивающих долговечность деталей подшипников в различных условиях эксплуатации. Так, после шлифования волнистых поверхностей деталей подшипников в зоне перехода от гребня к впадине образуются переходные структуры пониженной износостойкости (локальные ожоги), которые являются концентраторами напряжений и резко снижают износостойкость деталей. Последующее тонкое шлифование и полирование не обеспечивают здесь износостойкости поверхностного слоя в связи с неоднородностью структуры нижележащих слоев. Это позволяет сделать вывод, что при обработке закаленных деталей подшипников существенное влияние на качество поверхностного слоя оказывают не только окончательные чистовые, но и черновые операции обработки.

При токарной обработке возникают напряжения растяжения, при шлифовании — напряжения сжатия и растяжения, при доводочных операциях (полирование и суперфиниш) — напряжения сжатия.

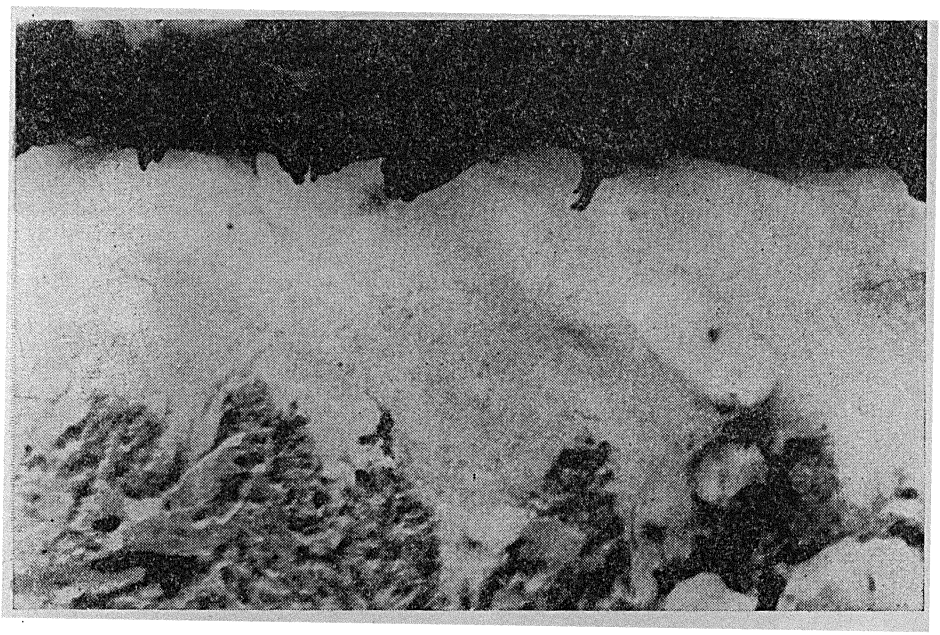
Вследствие неравномерности пластической деформации и нагрева в процессе резания (токарная обработка и шлифование) в поверхностном слое возникают остаточные напряжения, которые должны быть полностью сняты до окончательной обработки или в период ее проведения.

При окончательной обработке (чистовое шлифование, полирование или сверхдоводка) в поверхностном слое деталей подшипников также возникают остаточные напряжения, которые располагаются на глубине от 0,5 до 3 *мк*, если обработка ведется при установленном режиме.

Величина, знак и характер распределения остаточных напряжений в поверхностном слое влияют на сопротивление деталей износу. Остаточные напряжения сжатия повышают предел выносливости стали [4].

При шлифовании деталей подшипников, изготовленных из стали метастабильной структуры (закаленных на мартенсит), при определенном диапазоне скоростей на поверхности появляется особая структура — белая полоска (фиг. 1), не травящаяся обычными травителями [4].

Электронно-микроскопическим анализом поверхностных слоев деталей подшипников качения подтверждается наличие в поверхностных слоях белых полосок [3], состоящих из скоплений карбидов (фиг. 2 и 3). Эта структура



Фиг. 1. Структура колец в сечении у края рабочей поверхности. ×26 000.

вторичной закалки образуется при шлифовании вследствие больших скоростей нагрева поверхностного слоя до температур выше критических, значительных давлений и большой скорости охлаждения.

Белая полоска имеет твердость бо́льшую, чем мартенсит обычной закалки. Под слоем повышенной твердости находится зона отпуска пониженной твердости.

Образование структуры вторичной закалки связано с увеличением удельного объема и, следовательно, возникновением остаточных напряжений сжатия первого рода [4]. Микрогеометрия, упрочнение и глубина структурных изменений в поверхностном слое закаленных при шлифовании деталей подшипников зависят от химического состава металла, температуры закалки и отпуска, скорости шлифования, состояния шлифовального круга, метода и режима обработки, внешней среды. Как показали работы ЭНИИПП [1], с улучшением чистоты поверхности предел выносливости деталей подшипников существенно повышается.

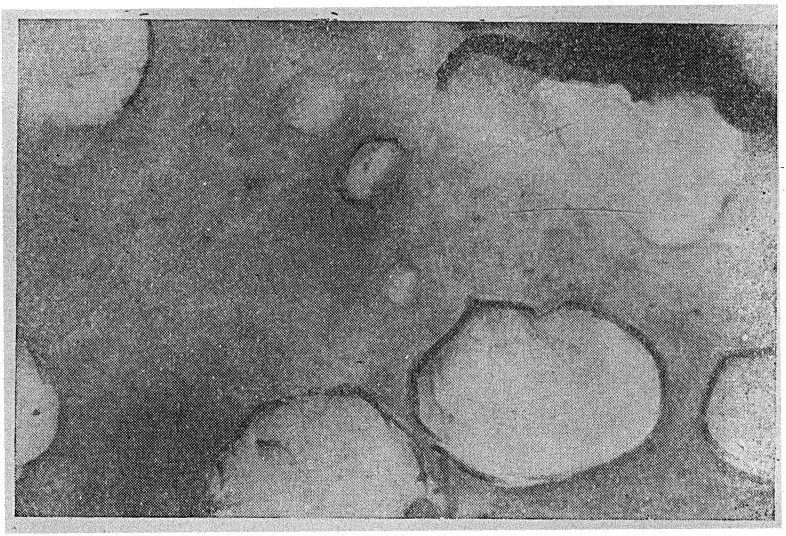
Чистота рабочих поверхностей окончательно обработанных деталей шарикоподшипников колеблется от 9-го до 11-го (реже 12-го) класса по ГОСТ 2789-59, причем глубина неровностей, полученная при окончательной обработке, $H_{ск}$ колеблется от 0,025 до 0,4 *мк*.

С увеличением скорости шлифования чистота поверхности улучшается, в поверхностном слое возрастают остаточные напряжения сжатия и предел выносливости стали повышается.

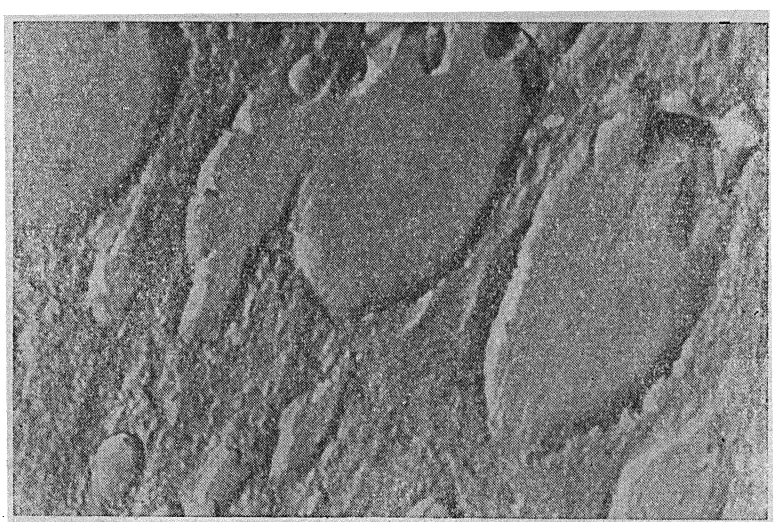
По экспериментальным данным ЭНИИПП [6], при увеличении скорости шлифования с 35 до 50 *м/сек* чистота поверхности улучшается на один класс.

С увеличением амплитуды волнистости на рабочих поверхностях деталей подшипников износ возрастает; это связано с ухудшением условий распределения давления на волнистой поверхности.

Некоторые типы точных подшипников после изготовления обкатываются (при-



Фиг. 2. Расположение карбидов у края рабочей поверхности. ×16 000.



Фиг. 3. Расположение карбидов в структуре поверхностного слоя колец. ×16 000.

рабатываются) на стендах или макетах машин, в результате чего, благодаря улучшению чистоты поверхности и упрочнению поверхностного слоя металла, повышается износостойкость подшипников.

ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ ПОДШИПНИКОВ

При работе подшипников качения происходит взаимное обкатывание деталей подшипников под нагрузкой, в результате чего возникают [7]:

общие напряжения и деформации во всем объеме металла кольца, ролика или шарика, изменяющиеся во времени в связи с перемещениями сопряженных деталей, передающих нагрузку;

местные контактные напряжения и деформации вблизи контактной площадки, охватывающие своим влиянием зону, простирающуюся от площадки контакта на расстояние, соответствующее трех-четырехкратной величине меньшего линейного размера контактной площадки;

упругие и пластические деформации металла в поверхностном слое, связанные с наличием неровностей на рабочих поверхностях; эти деформации проникают на глубину, примерно в 3—4 раза превышающую высоту неровностей;

физико-химические процессы, протекающие во внешних слоях и связанные с взаимодействием металла рабочей поверхности с оксидными пленками, смазкой или газовой средой в условиях высоких давлений и температур в зоне контакта; глубина слоя, в котором происходят эти процессы, крайне незначительна.

Таким образом, по мере перехода от средней части сечения детали к ее рабочей поверхности меняется не только величина напряжений и деформаций, но и структура металла.

В процессе качения деталей подшипников наблюдается также взаимное проскальзывание контактирующих поверхностей при весьма высоких удельных давлениях, в результате чего во внешнем (поверхностном) слое металла возникают тангенциальные упругие перемещения, которые после прохождения деталями данного участка переходят в состояние затухающих колебаний с переходом механической энергии в тепловую. В подшипниках допускаются небольшие остаточные деформации; кроме того, происходит наклеп рабочих поверхностей. Этим, например, объясняется снижение грузоподъемности подшипников в условиях статического нагружения, так как следы взаимного вдавливания деталей (наклеп), долго находящихся под статической нагрузкой, мешают дальнейшей работе подшипника. Небольшие остаточные деформации, образующиеся при вращении подшипника, приводят только к увеличению рабочего зазора в подшипнике и мало изменяют условия его работы.

Различают два вида пластических деформаций:

а) смятие поверхностных выступов накатывающейся и проскальзывающей поверхностью сопряженного тела и б) пластическая деформация более глубоких объемов металла при поддерживающем действии соседних объемов.

Первый вид пластических деформаций представляет собой либо раздавливание небольших выступов на поверхности, либо сдвиг их под влиянием скольжения поверхностей, вплоть до отрыва металла и его измельчения. В результате происходит истирание, а также изменение микропрофиля поверхности, причем на ней образуется весьма тонкий слой пластически деформированного упрочненного металла.

В случае недостатка смазки и больших удельных давлений в момент проскальзывания контактных поверхностей касательные силы достигают больших величин, что приводит к пластическому смещению целых участков поверхности с разрывами и надирами на ней (фиг. 4).

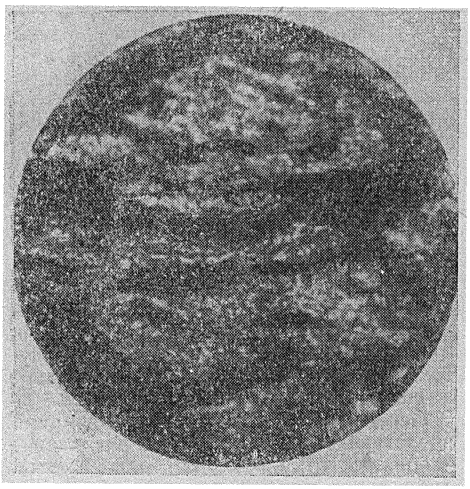
Вследствие накатывания тела качения (шарика или ролика) на рассматриваемый участок рабочей поверхности кольца разрушается внешняя пленка и одновременно происходят раздавливание, сдвиги и смятие мельчайших выступов поверхности.

Наблюдаются также пластические деформации, проникающие на значительную глубину, связанные с контактными напряжениями в металле.

Как показали многолетние наблюдения в ЭНИИППе и на подшипниковых заводах, после работы деталей подшипников (колец, шариков и роликов) под на-

грузкой наблюдается некоторое повышение твердости поверхностного слоя.

Последнее наблюдается преимущественно у деталей, работающих продолжительное время при средних контактных напряжениях порядка 15 000 *кг/см²*. У деталей, работающих под большими



Фиг. 4. Пластические смещения, разрывы и надиры на рабочих поверхностях из-за неудовлетворительной смазки деталей. ×90.

нагрузками и быстро выходящих из строя, повышение твердости поверхности не наблюдалось.

ВИДЫ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Под износом следует понимать процесс, ведущий к изменению размеров деталей. В подшипниках качения износ обычно происходит в результате контактной усталости металла.

Износ деталей подшипников качения определяет срок его службы. Поэтому изучение природы изнашивания и разработка мероприятий по повышению износостойкости и работоспособности деталей подшипников имеет большое практическое значение.

В конечном счете износ основан на микрогеометрических процессах в поверхностных слоях деталей.

Сущность этих процессов, однако, не может быть точно установлена, если рассматривать их только с точки зрения возникающих в процессе работы механических и геометрических изменений без учета физико-молекулярных и химических превращений в поверхностных слоях металла.

Виды износа [11] по характеру основных явлений, их обусловливающих, разделяются на следующие группы:

1. Механические, заключающиеся в выкрашивании частиц металла в результате пластических деформаций или более сложных явлений того же порядка.
2. Молекулярно-механические, связанные с явлением молекулярного сцепления материалов на отдельных участках контактирующих поверхностей с последующим механическим разрушением образовавшихся связей (узлов схватывания).
3. Коррозионно-механические, характеризующиеся химическим взаимодействием среды с материалами трущихся тел, с последующим механическим удалением продуктов взаимодействия.

Присутствие на поверхностях трения агрессивных сред может во много раз увеличить износ.

Различают следующие виды износа, проявляющиеся раздельно или совместно:

1) в результате контактной усталости;
2) от воздействия инородных тел на поверхности качения (абразивное изнашивание);
3) при приработке, заключающейся в сглаживании микронеровностей поверхности;
4) химический и электрохимический (контактная коррозия);
5) вследствие неточности изготовления деталей и монтажа подшипников;
6) задиры и наволакивание;
7) из-за закалочных, шлифовальных и других трещин неусталостного происхождения;
8) вследствие наличия раковин и неметаллических включений.

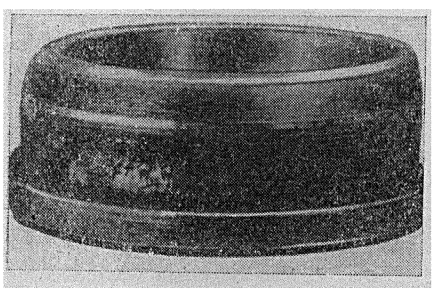
Случаи разрушения подшипников качения вследствие поломки отдельных его деталей относятся к области катастрофического износа.

Износ в результате контактной усталости. Главной причиной выхода подшипников из строя является не истирание рабочих поверхностей подшипников качения, а усталостные явления, возникающие в поверхностных слоях металла, из которого изготовлены детали подшипника.

Основным видом износа вследствие усталости деталей подшипника качения в нормальных условиях нагрузки, ско-

рости и смазки является выкрашивание металла на рабочих поверхностях в виде мелких точек (язвин) или отслаивания (шелушения). Характерный вид износа приведен на фиг. 5.

В результате трения качения и сопровождающей его пластической деформации поверхностный слой в точках кочтакта интенсивно наклепывается; при достижении определенной величины наклепа и числа циклов нагрузки структура поверхностного слоя ослабляется, становится хрупкой, что затем приводит к разрушению кристаллической структуры.



Фиг. 5. Износ в результате контактной усталости на внутреннем кольце цилиндрического роликоподшипника.

Последнее обусловлено здесь переменными напряжениями и приводит к локальному излому, в результате чего на рабочих поверхностях деталей подшипников наблюдаются явления выкрашивания металла.

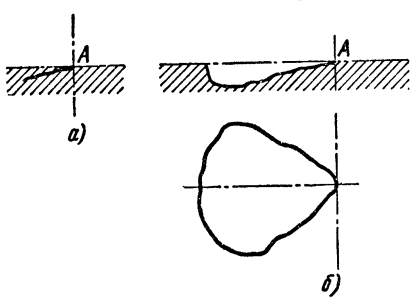
Явление образования раковин (язвин или шелушения) возникает как при одновременном смятии и волочении поверхностных слоев металла, т. е. при комбинированном трении скольжения и качения, так и при чистом качении в присутствии смазки.

Усталостное выкрашивание происходит в поверхностных слоях, где действуют максимальные скалывающие и нормальные напряжения [2], [7].

Разрушение деталей начинается с образования на их поверхностях микроскопических трещин, являющихся местами концентрации напряжений. Неровности обработанной поверхности играют ту же роль, что и микротрещины.

Усталостное выкрашивание на цилиндрических поверхностях с постоянным направлением обкатывания имеет форму веера (фиг. 6). Оно развивается из трещины, расположенной под некоторым углом к поверхности [12] и имеющей форму слегка заостренной дуги (фиг. 6, *а*). Острие трещины обращено навстречу перемещению нагрузки, и точка *А* первая воспринимает нагрузку от набегающих при качении роликов; при дальнейшей работе подшипника трещина увеличивается и углубляется и, достигнув некоторого максимального расстояния от поверхности, начинает снова подниматься. Угол этого подъема близок к прямому.

После того как конечная часть трещины выйдет на поверхность, изолированный трещиной объем металла отделяется и образуется раковина, имеющая в плане форму веера (фиг. 6, *б*). Рельеф поверхности раковины свидетельствует о скачкообразном распространении трещины. Эта схема изображает развитие первоначального очага разрушения. При дальнейшем перекатывании роликов через поврежденную поверхность обычно образуются новые вторичные трещины, которые вызываются местными нарушениями кривизны поверхности и повышенными напряжениями, возникающими при вдавливании выкрашившихся



Фиг. 6. Выкрашивание на кольце цилиндрического роликоподшипника: *а* — первичная трещина; *б* — развитие трещины и возникновение выкрашивания.

частиц. Это вторичное разрушение, имеющее беспорядочную форму, и соответствует тому шелушению, которое обычно обнаруживается на поверхностях качения. Данная геометрия усталостного разрушения [13] более или менее типична для цилиндрических поверхностей (ролики, кольца роликоподшипников), но имеет более сложный характер у желобов шарикоподшипников.

Как С. Вэй, так и П. А. Ребиндер пришли к заключению, что масло ускоряет процесс выкрашивания, проникая в первичные поверхностные трещины

и расклинивая их при сжатии данного объема металла в зоне контакта [8]. При этом масло с высокой вязкостью в меньшей степени вызывает усталостное выкрашивание, так как оно не может проникнуть в очень узкие трещины.

Если с поверхности роликов совершенно снять смазку, усталостное выкрашивание не наблюдается даже при продолжительных испытаниях.

Механизм адсорбционного понижения усталостной прочности стали основан на эффекте П. А. Ребиндера, согласно которому прочность твердых тел в присутствии активных веществ понижается.

Усталостное выкрашивание на поверхностях с высокой чистотой происходит значительно позднее, чем на поверхностях с грубой отделкой, где возникает резкое увеличение концентрации напряжений в поверхностных неровностях, ускоряющее появление первичной трещины.

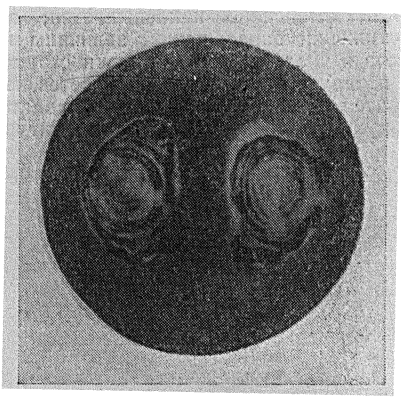
Усталостное выкрашивание начинается только при таком состоянии металла, когда весь объем металла в зоне от поверхности до слоя с наибольшими касательными напряжениями потерял свои первоначальные упругие свойства. В этом случае достаточно небольшого повреждения, чтобы возникла усталостная трещина.

Как показали исследования большого количества шариков от сферических радиально-упорных и упорных подшипников [9], геометрия усталостного разрушения в этом случае совершенно отлична от таковой же для колец и роликов и, как правило, имеет вид кругового выкрашивания (фиг. 7 и 8).

Образование круговой трещины и последующего кольцевого выкрашивания на шарике объясняются [9] явлениями гироскопических эффектов, которые возникают в подшипниках, когда плоскость вращения шарика не совпадает с направлением его переносного движения (сферические, радиально-упорные и упорные шариковые подшипники). Шарик постепенно поворачивается по отношению к набегающей зоне контакта (фиг. 8), — тем самым первичная дугообразная трещина превращается в замкнутое кольцо.

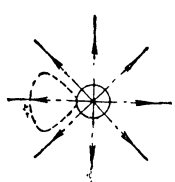
Испытания деталей подшипников [7] на контактную усталость подтверждают, что трещины и последующее выкрашивание не наблюдаются на участках, где происходит сильное истирание поверхности.

Отсутствие или задержка выкрашивания при наличии истирания приводит к выводу, что первичная трещина, развивающаяся потом в усталостное выкрашивание, располагается на поверхности.



Фиг. 7. Многополюсное усталостное выкрашивание шарика.

Действительно, если бы первичная трещина возникла на известной глубине, например в зоне наибольших касательных напряжений, то эффект поверхностного истирания не мог бы предотвратить выкрашивания, так как зона наибольших касательных напряжений



Фиг. 8. Схема образования концентрического развития усталостного выкрашивания.

при обычных соотношениях размеров деталей и нагрузок расположена на глубине 0,1—0,4 *мм*, в то время как поверхностное истирание обычно захватывает глубину 0,002—0,02 *мм*. Следовательно, первичная усталостная трещина развивается от поверхности внутрь, а роль поверхностного истирания в это время состоит в постепенном удалении зарождающихся первичных поверхностных трещин.

Основываясь на представлении о процессе усталостного выкрашивания [7], можно заключить, что при прочих равных условиях срок работы до появления

начальной трещины можно увеличить, если:

а) обеспечить высокие упругие качества материала у рабочей поверхности предварительным упрочнением;

б) предохранить подшипник от загрязнения посторонними твердыми частицами;

в) повысить качество отделки поверхности, улучшив ее микрогеометрию;

г) повысить точность изготовления деталей, обеспечив для рабочих поверхностей минимальные отклонения от идеальной круговой формы в сечении.

Абразивный износ поверхности детали происходит в результате режущего или царапающего действия твердых частиц (песок, пыль, кусочки выкрошившегося металла при образовании раковин, попавшие в подшипник). Основной механизм процесса этого вида изнашивания заключается в снятии твердой частицей, действующей как резец, стружки очень малого сечения. Твердые частицы могут иметь разную форму и быть различным образом ориентированы своими острыми ребрами относительно изнашиваемой поверхности; поэтому не все они режут, некоторые из них пластически деформируют более мягкий материал, оставляя следы в виде выдавленных рисок.

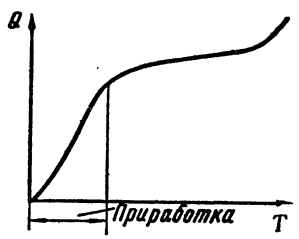
В процессе абразивного износа идет интенсивное истирание всех деталей и подшипник выбывает из строя по отклонениям геометрических размеров его деталей. Эти явления наблюдаются в подшипниках, которые применяются в сельскохозяйственных машинах, угольных транспортерах и других механизмах, где подшипники недостаточно хорошо защищены от проникновения песка и пыли.

Исследования показали, что попадание в подшипник посторонних твердых частиц в начальный период работы вызывает появление вмятин на рабочей поверхности, которые с течением времени сглаживаются в результате истирания или смятия окружающих участков поверхности и обычно не вызывают трещин, приводящих к выкрашиванию. Зато попадание твердых частиц в подшипник после того как он проработал большой срок и его детали получили поверхностное упрочнение неизбежно влечет за собой образование первичных трещин вокруг вмятин, иногда развивающихся в усталостное выкрашивание.

Износ в результате приработки. Даже тщательно обработанные поверхности всегда соприкасаются в отдельных точках и при небольшой нагрузке в этих точках наблюдаются высокие удельные давления, вызывающие нарушение масляной пленки и пластическую деформацию отдельных гребешков.

Этот процесс заключается в том, что в период приработки поверхностей происходит постепенный износ (истирание) старых неровностей, полученных при механической обработке, при одновременном возникновении новых неровностей, получающихся в процессе приработки.

Зависимость величины износа от времени работы характеризуется кривой, приведенной на фиг. 9.



Фиг. 9. Зависимость величины износа (Q) от времени изнашивания (T).

После приработки неровности нередко меняют форму, размеры и оказываются направленными в сторону движения. Эта новая микрогеометрия является оптимальной в период дальнейшего изнашивания, протекающего после приработки.

Характер разрушения неровностей поверхности определяется условиями изнашивания [10]. Одна и та же микрогеометрия поверхности может дать различный износ при изменении материала трущихся пар, удельного давления, температуры на поверхностях трения, условий смазки, скорости качения, степени загрязнения смазки.

Первоначальная шероховатость оказывает влияние преимущественно на продолжительность приработки. Кроме того, более гладкая поверхность в процессе трения дает меньший износ [5].

При анализе износа свойства поверхностных слоев трущихся деталей подшипника нужно оценивать при условиях, которые возникают на рабочих поверхностях в эксплуатации.

Однако не всегда идеально гладкая поверхность является наиболее износостойкой. Для различных случаев эксплуатации нужно устанавливать действительную оптимальную или минимально допустимую шероховатость поверхности.

Эта оптимальная шероховатость устанавливается обычно после приработки деталей. Если такую оптимальную шероховатость сообщить поверхности в процессе ее механической обработки, то изнашивание трущихся поверхностей будет минимальным. При этом необходимо учитывать направление следов механической обработки и характер изменения микротвердости трущихся поверхностей при переходе к более глубоким слоям металла.

Износ в результате коррозии — это процесс разрушения металлов и сплавов под химическим или электрохимическим воздействием внешней среды.

Окисление поверхности трения резко снижает долговечность стали. Механизм этого явления заключается в том, что окисление создает неоднородно-напряженное состояние, вызываемое изменением удельного объема на поверхности при химическом превращении железа в окисел. При этом на поверхности образуются концентрации напряжений, являющиеся очагами разрушений.

Коррозия деталей может проявляться самостоятельно или одновременно с износом вследствие истирания поверхности.

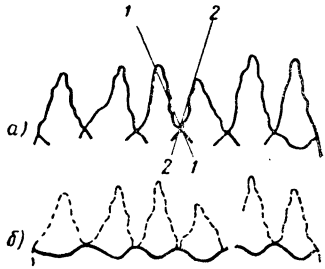
Коррозия распространяется в металле в двух направлениях — *1—1* и *2—2* (фиг. 10, *а*); угол между этими направлениями почти постоянен для данного металла и данной коррозионно-активной среды, но в некоторой степени зависит от структуры металла. Сказанное относится к железным и медным сплавам, так как коррозия других металлов еще недостаточно изучена.

Коррозия подрывает выступы шероховатостей. Если поверхность при этом подвергается трению, то выступающие части отламываются прежде, нежели они истираются, и прежде, чем коррозия полностью отделит их от основной массы металла.

В случае, когда причиной отделения выступающих частей является только коррозия, дно образующейся новой впадины более шероховато, чем в случае одновременного действия коррозии и истирания.

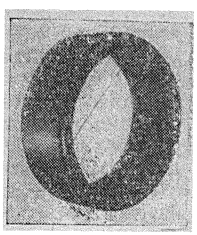
В результате самостоятельного действия коррозии или совместного ее действия с истиранием поверхность приобретает иную шероховатость, состоящую из новых выступов и впадин (фиг. 10, *б*).

Установлено, что действие коррозии тем сильнее, чем больше шероховатость обработанной поверхности и вибрации контактирующих поверхностей.



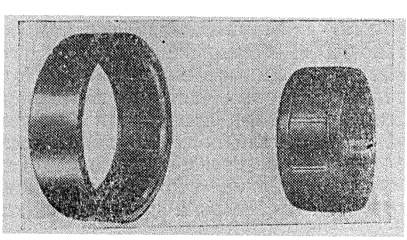
Фиг. 10. Износ в результате коррозии: *а* — направления действия коррозии; *б* — поверхность, полученная в результате коррозионного износа.

В случае пульсирующего контакта, имеющего место, например, при качании подшипника на малый угол или при перевозке статически нагруженного подшипникового узла по железной дороге, контактно-коррозионные разрушения приводят к постепенному взаимному «вдавливанию» деталей подшипников (фиг. 11 и 12), такой процесс называется ложным бринелированием.



Фиг. 11. Эффект ложного бринелирования на наружном кольце сферического шарикоподшипника.

Вещества и газы, вызывающие коррозию, действуют наиболее активно на дне впадин и в поверхностных трещинах; их разрушающее действие распространяется в глубь металла, что приводит к отделению микрочастиц металла и образованию, таким



Фиг. 12. Эффект ложного бринелирования на кольцах цилиндрического роликоподшипника

образом, новой поверхности. Чем больше глубина впадин и меньше радиус закругления дна впадин, тем сильнее действие коррозии при всех прочих равных условиях.

Из сказанного следует, что с уменьшением шероховатости, т. е. с повышением чистоты обработанной поверхности, уменьшается также и интенсивность коррозии.

Износ вследствие неточности изготовления и монтажа подшипников качения. Под точностью изготовления понимается не только точность изготовления деталей подшипников в пределах установленных допусков, но также точность соблюдения заданной технологии, так как несоблюдение технологии обработки приводит к повышенным напряжениям и деформациям, что отрицательно влияет на износостойкость поверхностного слоя.

На работу подшипника качения большое влияние оказывают отклонения контуров сечений рабочих поверхностей колец, шариков и роликов от правильной геометрической формы. Например, большое уменьшение радиуса желоба и приближение его к радиусу шарика хотя и дает повышение износостойкости и грузоподъемности подшипника, но значительно увеличивает потери на трение.

Износ в виде задиров и наволакивания происходит из-за отпуска металла, вызванного нагревом при защемлении подшипника, а также в случае недостатка смазки или неправильного выбора ее. Это, в свою очередь, вызывает схватывание металлов в процессе трения и разрушение трущихся поверхностей. Сопровождаясь вырыванием металла из глубоко расположенных от поверхности слоев, схватывание создает концентрации напряжений, снижающие предел выносливости и долговечность.

Разрушение подшипников качения происходит вследствие поломки отдельных его деталей, что приводит к так называемому аварийному износу.

Поломка сепаратора во время работы вызывает попадание частей сепаратора между кольцами и телами качения и заклинивание подшипника на ходу.

Поломка латунных и других массивных сепараторов ввиду их высокой прочности при нормальных скоростях происходит относительно редко, штампованные же тонкостенные сепараторы ломаются чаще, особенно по сечениям, ослабленным отверстиями под заклепки.

Величина радиального зазора также влияет на работу сепаратора. Если подшипник имеет пониженный зазор, то между телами качения и кольцами возможно заклинивание, в период которого усилия, передаваемые от тел качения на гнезда сепараторов, резко возрастают, что и приводит к преждевременному разрушению сепаратора.

Поломка тел качения (шариков, роликов) наблюдается относительно редко и происходит в результате некачественного металла, нарушения режимов термообработки или механической обработки.

Поломка колец наблюдается при перегрузке подшипников.

Кольца цилиндрических роликоподшипников при перегрузке разламываются по диаметральному сечению, наблюдаются также случаи скалывания бортов.

Разрушение колец шарикоподшипников от перегрузки начинается с образования на участках с большими местными нагрузками сквозной трещины, проходящей через среднюю часть сечения кольца вдоль желоба в плоскости, перпендикулярной к оси подшипника. Эти участки обычно совпадают с зонами начального усталостного выкрашивания, поэтому трещины быстро распространяются по окружности кольца вдоль желоба, раскалывая кольцо по средней плоскости на две половины или откалывая часть кольца.

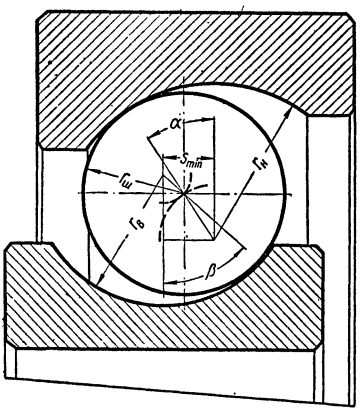
Излом колец шарикоподшипников поперек желоба наблюдается относительно редко и происходит в результате неправильного монтажа подшипника (чрезмерный натяг при посадке на вал или деформация наружного кольца в корпусе неправильной формы).

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНЫХ И ОСЕВЫХ ЗАЗОРОВ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ НА ИЗНОС

Величина зазора в подшипниках качения влияет на их износ. При недостаточном зазоре шарики остаются защемленными почти на протяжении всего своего пути, теряют возможность самоустанавливаться и изменять плоскость вращения. При этом шарики, обкатываясь по постоянной дорожке качения, скорее достигают в отдельных точках поверхности предельного числа циклов нагружения, чем шарики, меняющие плоскость своего вращения и обкатывающиеся по различным направлениям. Одноосевое враще-

ние шариков, т. е. вращение вокруг постоянной оси, ухудшает также условия поступления смазки на дорожки качения.

При недостаточном радиальном зазоре каждое совпадение максимальных вели-



Фиг. 13. Схема геометрической зависимости между зазором и углами контакта.

чин овальностей колец и шариков приводит к жесткому заклиниванию деталей, которое сопровождается появлением больших усилий между деталями и резким увеличением местных деформаций в местах контакта. При этом увеличиваются пластические деформации, наклеп и износ рабочих поверхностей, что ведет к преждевременному выходу подшипника из строя.

Чем выше окружная скорость шариков или роликов, тем резче протекают явления заклинивания, выше динамические усилия внутри подшипника, и тем скорее наступает его разрушение. Поэтому быстроходные подшипники при недостаточном радиальном зазоре особенно чувствительны к точности изготовления и выходят из строя по причине контактной усталости металла даже при работе с небольшими нагрузками (фиг. 13).

Повышенный в известных пределах радиальный зазор допускает работу подшипника с некоторой неправильностью формы рабочих деталей и хотя он неблагоприятен с точки зрения равномерности распределения нагрузки по телам качения, все же не имеет такого вредного влияния на долговечность подшипника, как излишне малый зазор.

Подшипник с повышенным радиальным зазором приведен на фиг. 13.

Однако чрезмерное увеличение радиального зазора сокращает величину нагруженной зоны, повышает нагрузку на тела качения в момент их нахождения в пределах этой зоны, что также неблагоприятно отражается на истирании рабочих поверхностей и приводит, в свою очередь, к снижению долговечности подшипников.

Абсолютные величины радиального зазора у роликоподшипников в 2—4 раза превышают зазоры шарикоподшипников при одинаковых монтажных диаметрах.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Брозголь И. М., Влияние микрогеометрии поверхности и метода окончательной обработки дорожек качения колец на долговечность шариковых подшипников. Научно-технический бюллетень «Технология подшипникостроения» № 17, ЭНИИПП, 1958.
2. Грозин Б. Д., Образование питинга и пластические деформации метастабильных структур стали, «Трение и износ в машинах», т. I, АН СССР, 1947.
3. Гровин Б. Д., Семирот-Орлик В. Н., Исследование состояния поверхностных слоев металла с помощью электронного микроскопа, Труды ИСМ АН УССР № 22, 1956.
4. Драйгор Д. А., Износостойкость и усталостная прочность стали в зависимости от условий обработки и процесса трения, АН УССР. 1959.
5. Дяченко П. Е., Вайнштейн Б. Э., Чиркова Е. А., Зависимость износа металлов от микрогеометрии поверхности, «Всесоюзная конференция по трению и износу в машинах», т. I, АН СССР, 1947.
6. Кузнецов И. П., Основы скоростного шлифования и пути внедрения его в производство, Машгиз, 1954.
7. Пинегин С. В., Работоспособность деталей подшипников, М. Машгиз, 1949.
8. Ребиндер П. А. Петрова Н. А., Физико-химические основы явлений износа трущихся поверхностей и смазки при высоких давлениях, Труды Всесоюзной конференции по трению и износу в машинах, т. I, АН СССР, 1939.
9. Спектор А. Г., Решеткина Н. А., Поверхностная усталость шариков, «Подшипник» № 11—12, 1940.
10. Тененбаум М. М., Микрогеометрия и износ поверхностей. Качество поверхностей детали машин, Машгиз, 1950.
11. Хрущев М. М., Классификация условий и видов изнашивания деталей машин, «Трение и износ в машинах», сб. VIII, АН СССР, 1953.
12. Way S-Pittjng du to rolling contact «Appl», Mechanics» № 2,1935.
13. Way-Westing hous Electric M-g. So „Machino Desiqn" № 3, 1939.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Глава XV

МЕТАЛЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ; ИХ СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Кольца, шарики и ролики изготовляют из сталей, обладающих высоким сопротивлением пластической деформации, высокой контактной выносливостью и износостойкостью.

Этим требованиям удовлетворяют высокоуглеродистые хромистые шарикоподшипниковые стали, соответствующие специальным техническим условиям, имеющие после термической обработки значительную степень химической и физической однородности и высокую твердость при достаточной пластичности.

Для колец и тел качения подшипников, предназначенных для работы при больших ударных нагрузках, применяют цементуемые и среднеуглеродистые стали; для работы в агрессивных средах (пресной и морской воде и ее парах, азотной кислоте и ее парах) — нержавеющие стали; для работы при повышенных температурах — теплоустойчивые стали.

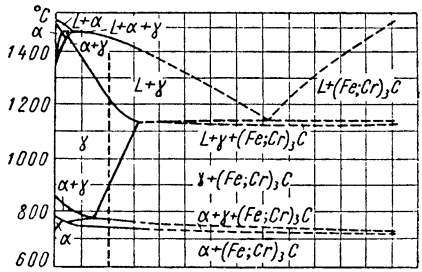
Для сепараторов подшипников, работающих при хорошей смазке, применяют малоуглеродистые стали, латуни, бронзу, алюминиевые сплавы. Сепараторы подшипников, работающих при неблагоприятных условиях смазки, изготовляют из графитизированных сталей и магниевого чугуна, содержащих в структуре графит, служащий смазкой и препятствующий «свариванию» сопряженных поверхностей трения, или никелевые сплавы, покрывающиеся во время работы самовозобновляющейся окисной пленкой, которая также служит смазкой и препятствует «схватыванию» поверхностей скольжения. Материалы для подшипников качения и данные об их составе и свойствах приведены в табл. 1 (стр. 338—341).

ХРОМИСТЫЕ ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫЕ СТАЛИ

Химический состав и общие требования

Химический состав шарикоподшипниковых сталей марок ШХ6, ШХ9, ШХ15 и Ш15СГ по ГОСТ 801-60 приведен в табл. 1. Содержание вредных примесей должно быть не более: фосфора 0,027%, серы 0,020%. Содержание никеля в стали всех марок не должно превышать 0,3%, содержание меди — 0,25%.

Химический состав шарикоподшипниковых сталей, применяемых в других странах, изготовляющих подшипники качения, аналогичен химическому составу



Фиг. 1. Диаграмма состояния сплавов Fe — C при содержании 1,6 % Cr.

сталей, применяемых в СССР (табл. 2 и 3).

В шарикоподшипниковых сталях строго ограничиваются количество и величина металлургических дефектов, которые, попадая в поверхностный рабочий слой деталей подшипников, становятся концентраторами напряжений и источником преждевременного усталостного разрушения (табл. 4).

Критические точки хромистых подшипниковых сталей приведены в табл. 5 и на диаграмме фиг. 1.

Структура и твердость отожженной стали

По техническим условиям микроструктура отожженной стали — зернистый перлит, твердость *HB* 207—170 при диаметре отпечатка 4,2—4,6 *мм*, *P*=3000 *кг*;

1. Металлы для

А. Ста

Наименование материалов	Марка	Основное назначение	Химический		
			C	Mn	Si
Высокоуглеродистые хромистые подшипниковые стали	ШХ6	Шарики, ролики	1,05—1,15	0,2—0,4	0,17—0,37
	ШХ9	То же	1,0—1,1	0,2—0,4	0,17—0,37
	ШХ15	Кольца, шарики, ролики	0,95—1,05	0,2—0,4	0,17—0,37
	ШХ15СГ	Кольца, ролики	0,95—1,05	0,9—1,2	0,4—0,65
Среднеуглеродистые стали	ШХ10	Ролики витые	0,32—0,42	0,40—0,70	0,15—0,35
	65Г	Кольца, шайбы	0,6—0,7	0,9—1,2	0,17—0,37
	55СМА	Шарики, ролики	0,5—0,6	0,3—0,5	0,8—1,0
	50ХН	То же	0,47—0,55	0,5—0,8	0,17—0,37
Цементуемые стали	20Х2Н4А	Кольца, ролики	0,17—0,22	0,3—0,6	0,17—0,37
	15НМ	То же	0,10—0,18	0,4—0,7	0,17—0,37
	18ХГТ	Кольца	0,16—0,24	0,8—1,10	0,17—0,37
	15Х	То же	0,12—0,18	0,4—0,7	0,17—0,37
	0,8	»	0,05—0,12	0,35—0,65	0,17—0,37
	10	»	0,07—0,14	0,35—0,65	0,17—0,37
Малоуглеродистые стали	08кп	Сепараторы	0,05—0,11	0,25—0,50	н.б.0,03
	10кп	То же	0,07—0,14	0,25—0,50	н.б.0,07
	15	Заклепки	0,12—0,19	0,35—0,65	0,17—0,37
	20	Распорки	0,17—0,24	0,35—0,65	0,17—0,37
	30	Сепараторы	0,27—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37

Б. Специальные стали,

Наименование материалов	Марка	Основное назначение	Химиче		
			C	Mn	Si
Графитизирующиеся стали	ЭИ-336	Сепараторы	1,5—1,7	0,15—0,40	0,7—1,0
	ЭИ-366	То же	1,3—1,45	0,30—0,50	1,0—1,25
	ЭИ-833	»	1,4—1,7	0,15—0,40	1,0—1,3
Магнисвый чугун	ВЧ40-10	Сепараторы	3,2—3,8	0,3—0,7	2,2—3,0
Нержавеющие стали	Х18 (ЭИ229)	Кольца, шарики, ролики	0,9—1,0	⩽0,7	⩽0,8
	ОХ18Н9	Сепараторы, заклепки	⩽0,07	⩽2,0	⩽0,08
	1Х18Н9Т	То же	⩽0,14	⩽2,0	⩽0,8

деталей подшипников

л и

состав в %			Коэффициент линейного расширения ($\alpha \cdot 10^6$)	Удельный вес γ	Технические условия
Cr	Ni	Прочие элементы			
0,4—0,7	н. б. 0,3	—			ГОСТ 801-60
0,9—1,2	н. б. 0,3	—			ТУ 4727-49 (проволока)
1,3—1,65	н. б. 0,3	—	12,2	7,8	ГОСТ 800-55 (трубы) и ЧМТУ 136-56 (трубы малых размеров)
1,3—1,65	н. б. 0,3	—			
0,8—1,2	—	—	11,3	7,8	ГОСТ 808-49
⩽0,3	⩽0,3	—	11,1	7,8	ГОСТ 1050-60, ЧМТУ 3341-53
< 0,3	н. б. 0,3	Mo 0,4—0,6	—	—	ТУ 2193-49
0,45—0,75	1,0—1,4	—	11,8	7,8	ГОСТ 4543-57
1,25—1,65	3,3—3,7	—	—	—	ГОСТ 4543-57, ЧМТУ 3213-52, МПТУ 2727-50
До 0,30	1,5—2,0	Mo 0,2—0,3	—	—	МПТУ 2648-50
1,0—1,3	н. б. 0,4	Ti 0,08—0,15	—	—	ЧМТУ 3120-52, ГОСТ 4543-57
0,7—1,0	—	—	11,3	7,8	ГОСТ 4543-57
н.б. 0,10	⩽0,25	—	11	7,8	ГОСТ 1050-60
⩽0,15	⩽0,25	—	11,6	7,8	ГОСТ 1050-60
н.б. 0,10	⩽0,25	—	11,0	7,8	ГОСТ 503-41, 1050-60, 914-56
⩽0,15	⩽0,25	—	11,6	7,8	ГОСТ 4041-48
⩽0,25	⩽0,25	—	11,9	7,8	ГОСТ 1050-60, 4605-49
⩽0,25	⩽0,25	—	11,1	7,8	ГОСТ 1050-60, 4605-49
⩽0,25	⩽0,25	—	11,1—11,7	7,8	ГОСТ 1050-60

магниевый чугун и сплавы

ский состав в %					Технические условия
Cr	Ni	S и P	Mo	Прочие	
⩽0,08	н. б.0,20	<0,03	—	Cu 0,4—0,6	ЧМТУ 5535-52
⩽0,08	<0,20	<0,03	—	Ti 0,2—0,4	ТУ 1041-48
⩽0,08	—	<0,03	—	Mg 0,03—0,10	ТУ 6272-56
⩽0,1	⩽0,20	—	—	Mg 0,04—0,1	ГОСТ 7293-54, ГП 87-60
17,0—19,0	⩽0,6	—	—	—	ГОСТ 5632-51
					ТУ 432, 401, МПТУ 2455-50 (трубы)
17,0—20,0	8—11	—	—	—	ГОСТ 5632-51
					ГОСТ 4986-54 (лента)
17,0—20,0	8—11	—	—	—	ГОСТ 5548-50 (проволока)

Наименование материалов	Марка	Основное назначение	Химиче		
			C	Mn	Si
Теплоустойчивые стали и сплавы	ЭИ-161	Кольца, ролики	0,55—0,65	0,30—0,60	0,3—0,6
	ЭИ-944	Кольца	0,7—0,8	<0,4	0,2—0,4
	Р18	Кольца, ролики, шарики	0,7—0,8	0,4	0,4
	ЭИ-347	То же	0,7—0,8	≤0,4	≤0,4
	М10	Кольца	0,8		
	М1	Детали п/ш	0,8	0,2—0,4	0,2—0,4
	М50	То же	0,8	—	0,3
	МНТ	»	1,0	0,25—0,45	0,25—0,55
	Инконель Х	Сепаратор	0,4	< 0,3	—
	S — монель	То же	—	—	4
	ЭИ-945	0,6—0,7	0,6—0,7	н.б. 0,4	0,2—0,4

В. Цветные

Наименование материалов	Марка сплава	Основное назначение	Химический состав						
			Al	Fe	Mn	Cu	Be	Ni	Pb
Бронзы	Бр. Б2	Кольца, шарики	—	—	—	Остальное	1,9—2,2	0,2—0,5	—
	Бр. АЖМц 10-3-1,5	Сепараторы	9—11	2—4	1—2	То же	—	—	—
	Бр. АЖН 10-4-4	»	9,5—11,0	3,5—5,5	—	»	—	3,5—5,5	—
Латуни	ЛС-59-1	Сепараторы	—	—	—	57—60	—	—	0,8—1,9
	ЛС-59-1Л	»	—	—	—	57—61	—	—	0,8—1,9
	Л-62	Сепараторы, заклепки	—	—	—	60,5—63,5	—	—	—
	Л-80	Сепараторы	—	—	—	79—81	—	—	—
Алюминиевые сплавы	Д-1Т	Сепараторы	Остальное		0,4—0,8	3,8—4,8	—	—	—
	АК-4	»	Остальное	1,1—1,6		1,9—2,5	—	1,0—1,5	—

Продолжение табл. 1

ский состав в %					Технические условия
Cr	Ni	W	Mo	Прочие	
6,5—7,5	н.б. 0,30	6,5—7,5	0,25—0,35	⩽ 0,3	ЧМТУ 5908-57
4,4—5,0	—	4—5	0,4—0,6	0,7—1,0	
3,8—4,4	⩽0,4	17,5—19,0		1,0—1,4	ГОСТ 5952-51
4—4,6	⩽0,35	8,5—9,5	⩽0,3	1,3—1,7	ЧМТУ 5815-57
4,0			8,0	2,0	
4,0	—	1,5	9,0	1,0	—
4,0	—		4,25	1,0	—
1,45	—	Al 0,75—1,25	—	—	
14,0	75	Al 0,6	Ti — 2,25—2,75	Fe	
—	60			Cu остальное	
4,4—5,0	—	6,5—7,5	0,20—0,35	0,4—0,7	ЧМТУ 5908-57

металлы

в %			Состояние поставки	Основные свойства в состоянии поставки					Технические условия
Zn	Mg	Si		*HB*	$\sigma_в$	δ	$\alpha 10^6$	γ	
—	—	—	Прутки мягкие	100	40—60	30,0	16,6	8,2	ГОСТ 493-54
			Прутки твердые	150	Не менее 75—100				
			Прутки облагороженные	340—370	130—135	0,5	—	—	
—	—	—	Прутки прессованные	129—171	60	12	16	7,5	ГОСТ 493-54 ГОСТ 1628-60
			Трубы прессованные	129—171	60	12	—	—	ГОСТ 1208-54
—	—	—	Прутки прессованные	170—220	65	5	17,1	7,7	ГОСТ 493-54, ГОСТ 1628-60
			Трубы прессованные	170—220	65	5			ГОСТ 1208-54
Остальное	—	—	Прутки катаные, тянутые прессованные		37—40	12—18	20,6	8,5	ГОСТ 1019-47, ГОСТ 2060-60 ГОСТ 494-52
			Трубы прессованные		40	20			ГОСТ 494-52
Остальное	—	—	Трубы (центробежная отливка)	80—90	20—42	40	20,1	8,5	ГОСТ 1019-47 и ТУ 53
			Мягкое	56	36	49	20	8,5	ГОСТ 1019-47, ГОСТ 2208-49
Остальное	—	—	Твердое	164	68	—			
Остальное	—	—	Мягкое	45—55	30—34	52	18,8	8,65	ГОСТ 1019-47, ГОСТ 2208-49
			Твердое	120—145	55—65	10			
—	0,4—0,8		Закаленные и состаренные	100	40	11	21,9	2,8	ГОСТ 4784-49, ГОСТ 4773-49
—	1,4—1,8	0,5—1,2		110	44	10	22	2,8	ГОСТ 4784-49 СТУ 162-56 (трубы)

2. Химический состав шарикоподшипниковых сталей разных стран

Страна, применяющая сталь	Химический состав в %					
	C	Cr	Mn	Si	P	S
					Не более	
СССР	0,95—1,10	1,30—1,65	0,20—0,40	0,15—0,35	0,020	0,027
США	0,95—1,10	1,25—1,55	0,3 —0,5	0,20—0,35	0,025	0,025
Швеция	0,95—1,10	1,30—1,65	0,25—0,35	0,25—0,35	0,020	0,030
Германия	0,90—1,10	1,30—1,60	0,25—0,40	0,25—0,35	0,030	0,030

3. Химический состав шведских сталей, аналогичных стали марки ШХ15СГ

Марка стали	Химический состав в %				P	S
	C	Cr	Mn	Si	Не более	
SKF-1	1,0±0,05	1,40—1,65	1,0—1,2	0,5—0,6	0,020	0,030
SKF-2	1,0±0,05	1,0 —1,2	1,0—1,2	0,5—0,7	0,020	0,030

4. Содержание неметаллических включений, пористость и карбидная неоднородность, допустимые в металле по ГОСТ 801-60 и ГОСТ 800-55

Виды стали	Содержание неметаллических включений в баллах		Пористость в баллах		Карбидная неоднородность		
	Оксиды	Сульфиды	Общая	Центральная (осевая)	Остатки разорванной карбидной сетки	Ликвация	Полосчатость
Сталь отожженная холоднотянутая	2,0	2,0	1	2	3,0	1,0	2,0
Сталь отожженная горячекатаная	2,5	2,5			3,0	1,5	2,0
Сталь неотожженная горячекатаная	3,0	2,0			—	3,0	2,5
Трубы отожженные горячекатаные	2,5	2,5	—	—	3,0	1,5	—

5. Критические точки хромистых подшипниковых сталей

Температура в °С

Марка стали	Критические точки	
	Ac_1	Ac_m
ШХ6	730—745	880
ШХ9	730—755	880
ШХ15	735—765	900
ШХ15СГ	725—760	—

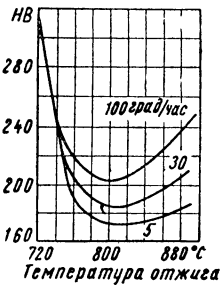
$D=10$ *мм*. Структура стали после отжига (исходная структура перед закалкой) оказывает большое влияние на поведение стали при закалке, на свойства закаленной стали и поведение окончательно готовых деталей подшипника, на обрабатываемость на токарных станках, величину действительного зерна аустенита, состав карбидов и мартенсита, механические свойства, содержание остаточного аустенита, изменение размеров при тер-

мообработке, стабилизацию размеров во времени, на режимы нагрева и охлаждения при закалке. Поэтому разница в структуре отожженной стали разных партий должна быть минимальной, что достигается за счет строго одинаковых режимов нагрева и охлаждения при ковке и отжиге. Характеристика микроструктуры отожженной подшипниковой стали приведена в табл. 6.

На фиг. 2 и 3 показаны графики зависимости твердости стали от режима отжига.

Количество и химический состав структурных составляющих отожженной стали, так же как и микроструктура, зависят от режима отжига (табл. 7).

Как показывает табл. 7, кратковременный высокий отпуск после нормализации не изменяет характера микроструктуры, но вызывает перераспределение хрома между карбидами и ферритом, благодаря чему резко уменьшается концентрация элементов, растворенных в феррите. Это приводит к понижению твердости нормализованной стали и резкому ухудшению ее закаливаемости.



Фиг. 2. Твердость по Бринелю стали ШХ15 в зависимости от температуры отжига при разных скоростях охлаждения [2].



Фиг. 3. Твердость стали ШХ15 в зависимости от скорости охлаждения при отжиге [3].

6. Характеристика микроструктуры отожженной стали

Структура	Балл по ГОСТ 801-47	Твердость по Бринелю (диаметр отпечатка)	Оценка
Мелкозернистый (точечный) с участками тонкопластинчатого перлита	1	4,0	Не допускается
Мелкозернистый перлит	2—3	4,2—4,3	Наилучшая
Однородный зернистый перлит	4	4,4	Хорошая
Крупнозернистый перлит	5	4,5	Допускается
Неоднородный крупнозернистый перлит с участками крупнопластинчатого перлита	6	4,5—4,6	Не допускается

7. Количество карбидов в стали ШХ15 (1,02% C; 0,24% Si; 0,30% Mn; 1,54%Cr) после нормализации или отжига и их химический состав (А. С. Шейн, А. А. Царева, А. С. Гостева, Т. В. Синицына)

Микроструктура	Весовой % карбидов	Концентрация в %			
		в карбидах		в феррите	
		Cr	Mn	Cr	Mn
Тонкопластинчатый перлит (нормализация с 900°)	13,5	7,6	1,3	0,61	0,15
Тонкопластинчатый перлит (нормализация + отпуск 650°)	14,3	9,4	1,8	0,1	0,13
Мелкозернистый перлит (отжиг при 800°)	14,5	9,1	1,8	0,1	0,13

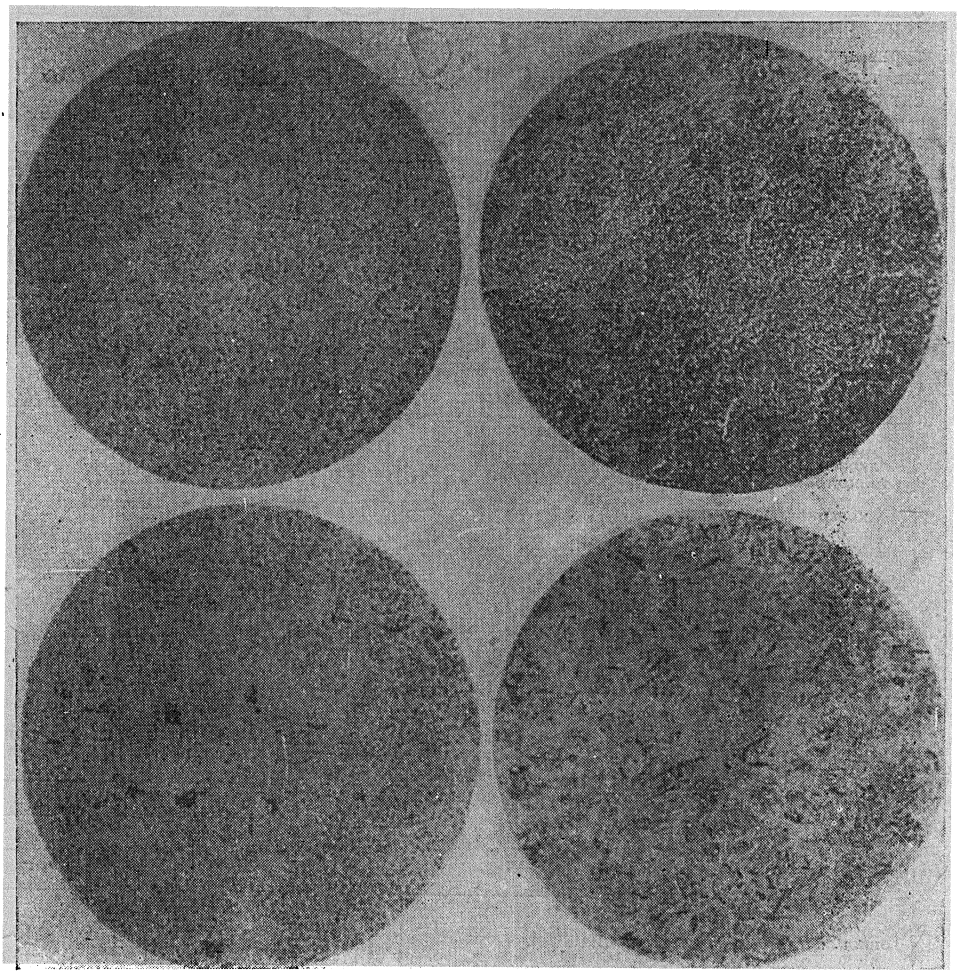
Структура закаленной стали

По техническим условиям структура обработанных деталей из шарикоподшипниковой стали должна состоять из скрытокристаллического или мелкокристаллического мартенсита и мелких избыточных карбидов.

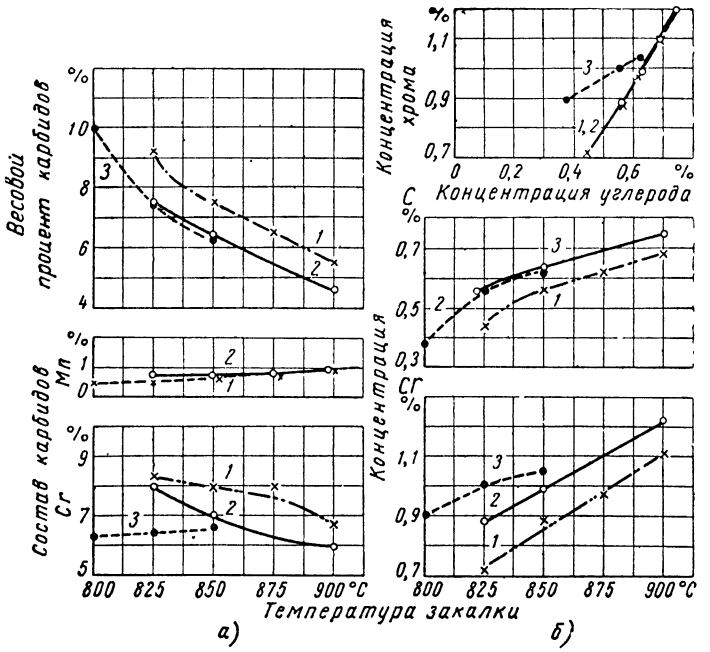
На поверхности деталей допускается наличие в структуре мелких участков тростита, величина и количество которых не вызывает понижения твердости и долговечности (фиг. 4).

Состав твердого раствора (мартенсита), количество и химический состав карбидов в закаленной стали приводятся на графиках фиг. 5—7.

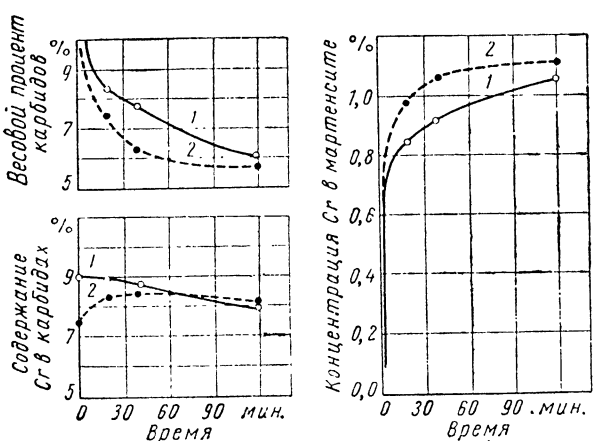
Величина действительного аустенитного зерна стали ШХ15 после закалки характеризуется кривыми на графиках фиг. 8—10.



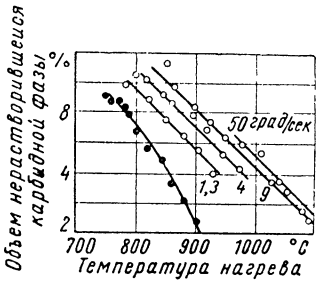
Фиг. 4. Допустимые микроструктуры шарикоподшипниковой стали. ×500 (Д. С. Ларионова).



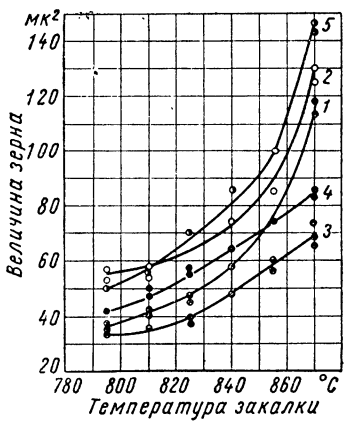
Фиг. 5. Влияние исходной структуры на количество и состав карбидов и состав твердого раствора (мартенсита) стали ШХ15 (А. С. Шейн, А. А. Царева, А. С. Гостева, Т. В. Синицына): *а* — карбиды; *б* — мартенсит; *1* — исходная структура: зернистый перлит, закалка, отпуск 150°; *2* — исходная структура: мелкозернистый перлит, закалка, отпуск 150°; *3* — исходная структура: тонкопластинчатый перлит, закалка, отпуск 150°.



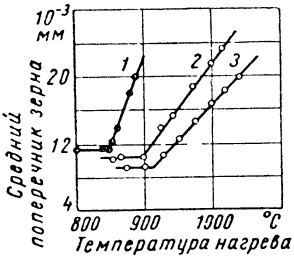
Фиг. 6. Влияние выдержки при нагреве под закалку на количество и состав карбидов и состав твердого раствора (мартенсита) стали ШХ15 (А. С. Шейн, А. А. Царева, А. С. Гостева, Т. В. Синицина): *а* — карбиды; *б* — мартенсит; *1* — исходная структура: зернистый перлит, закалка 850°, отпуск 150°; *2* — исходная структура: тонкопластинчатый перлит, закалка при 830°; отпуск 150°.



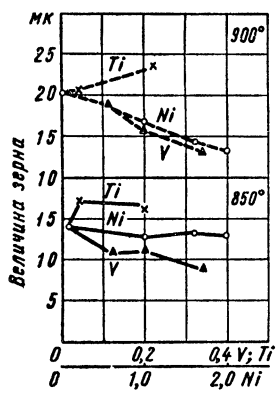
Фиг. 7. Влияние скорости нагрева на количество карбидов в закаленной стали ШХ15 [2].



Фиг. 8. Величины зерна аустенита в закаленной стали ШХ15 в зависимости от исходной структуры и температуры закалки [2]: *1* — мелкопластинчатый перлит; *2* — пластинчатый перлит; *3* — точечный перлит; *4* — мелкозернистый перлит; *5* — крупнозернистый перлит.



Фиг. 9. Влияние скорости нагрева на величину зерна аустенита. Стрелками показаны размеры зерна, отвечающие появлению игольчатого мартенсита: *1* — нагрев в печи 30 мин.; *2* — 4°/сек.; *3* — 10°/сек.



Фиг. 10. Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на величину зерна аустенита (А. С. Шейн и А. А. Царева).

Механические свойства закаленной подшипниковой стали

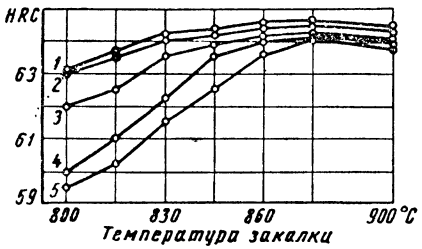
Твердость. В табл. 8 приводятся технические условия на твердость деталей подшипников после закалки и отпуска.

Зависимость твердости закаленной стали ШХ15 от исходной структуры, режима закалки и легирующих добавок приводится на графиках фиг. 11—13.

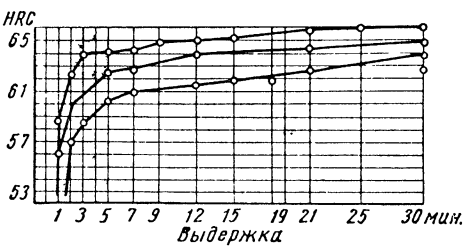
Изменение твердости закаленной стали в зависимости от режима отпуска показано кривыми на графиках фиг. 14—16.

8. Твердость деталей подшипников

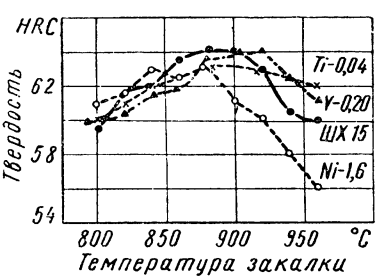
Наименование детали	Твердость *HRC*	Технические условия
Кольца малых и средних габаритов из стали ШХ15	61—65	ГОСТ 520-55
Кольца крупные из стали ШХ15 СГ . .	60—64	—
Ролики	61—65	ГОСТ 520-55
Шарики диаметром до 45 *мм*	62—66	ГОСТ 3722-54
Шарики диаметром выше 45 *мм*	60—66	ГОСТ 3722-54



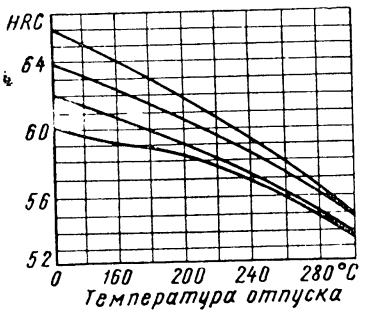
Фиг. 11. Твердость стали ШХ15 в зависимости от температуры закалки для разных исходных структур [2]. Отпуск при 150° 2 часа: *1* — тонкопластинчатый перлит; *2* — пластинчатый перлит; *3* — точечный перлит; *4* — зернистый перлит; *5* — крупнозернистый перлит.



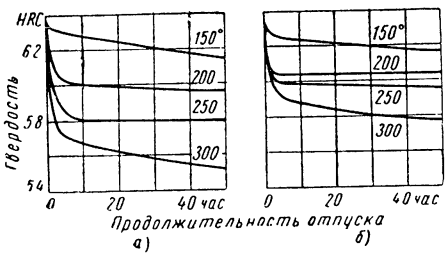
Фиг. 12. Влияние продолжительности выдержки на твердость закаленной стали с исходной структурой — зернистый перлит [2]. Температура закалки: *1* — 820°; *2*—840°, *3* — 860°.



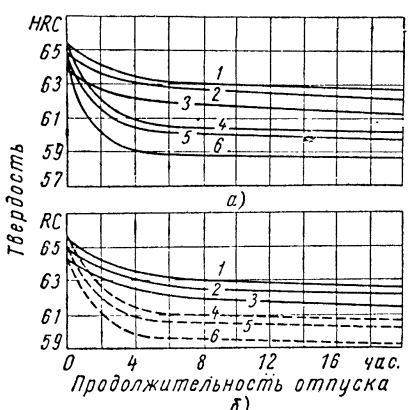
Фиг. 13. Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на твердость закаленной стали (А. С. Шейн и А. А. Царева).



Фиг. 14. Изменение твердости при отпуске в зависимости от разной исходной твердости (А. К. Чебурков).



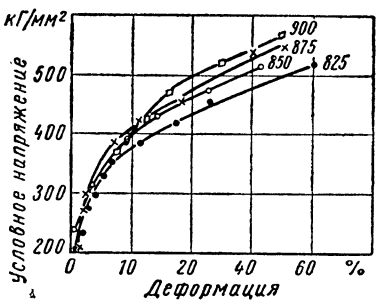
Фиг. 15. Влияние температуры и продолжительности отпуска на твердость закаленной стали [4]: *а* — сталь ШХ15, *б* — сталь ШХ15СГ.



Фиг. 16. Влияние исходной структуры на твердость закаленной стали при отпуске [4]: *а* — сталь ШХ15; *б* — сталь ШХ15СГ; *1, 2, 3* — отпуск 150°; *4, 5, 6* — отпуск 200°; *1, 4* — пластинчатый перлит; *2, 5* — точечный перлит; *3, 6* — зернистый перлит.

Твердость как после кратковременного, так и после длительного отпуска тем выше, чем выше твердость, полученная непосредственно после закалки. Это правило справедливо в том случае, когда более высокая твердость реализуется за счет повышения концентрации углерода (и хрома) в аустените, т. е. когда она практически получена измельчением исходной структуры или повышением температуры закалки. Высокая твердость, полученная при высокой скорости охлаждения (в воде) и при закалке с пониженной температуры (800—820°), быстро падает с повышением температуры отпуска. Поэтому сталь, нормально закаленная в масле с температуры 850°, имеет твердость более устойчивую против отпуска, чем сталь нормально закаленная с температуры 800° в воде.

Прочность при сжатии. Сопротивление стали ШХ15 пластическому деформированию и разрушению при сжатии увеличивается при повышении температуры закалки вплоть до температуры Ac_{m} = =900° (фиг. 17) в связи с повышением

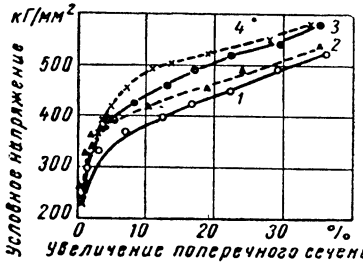


Фиг. 17. Диаграммы сжатия стали ШХ15 в зависимости от температуры закалки (Сахонько И. М.).

концентрации углерода в твердом растворе, а также при применении обработки холодом, вызывающей превращение остаточного аустенита в мартенсит (фиг. 18).

Повышение температуры отпуска, вызывающее понижение твердости, уменьшает величину предела прочности при сжатии (фиг. 19).

Разрушающая нагрузка при сжатии шариков по схеме Штрибека значительно повышается при понижении температуры закалки, повышении температуры отпуска, весьма продолжительных выдержках в процессе изотермической закалки



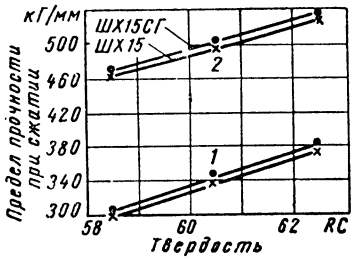
Фиг. 18. Влияние обработки холодом на предел прочности при сжатии стали ШХ15 (А. С. Шейн и А. А. Царева). Исходная структура — тонкопластинчатый перлит: *1* — температура закалки 825° в масле при 150°, охлаждение до +20°; *2* — температура закалки 825° в масле при 150°, охлаждение до —70°; *3* — температура закалки 850° в масле при 150°, охлаждение до +20°; *4* — температура закалки 850° в масле при 150°, охлаждение до —70°. Отпуск 150°.

и в процессе низкотемпературного отпуска (фиг. 20—22). Нормы разрушающей нагрузки для шариков приводятся в табл. 9.

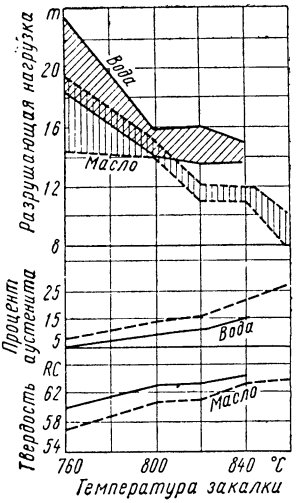
9. Нормы разрушающих нагрузок для шариков (по ГОСТ 3722-60

Диаметр шарика		Нагрузка в кГ	Диаметр шарика		Нагрузка в кГ
в дюймах	в мм		в дюймах	в мм	
1/8	3,175	550	25/32	19,844	20 300
5/52	3,969	860	13/16	20,638	21 900
3/16	4,763	1 230	7/8	22,225	25 200
7/32	5,556	1 660	15/16	23,813	28 700
1/4	6,350	2 170	1	25,400	32 500
9/32	7,144	2 750	1 1/16	26,988	36 500
5/16	7,938	3 350	1 1/8	28,575	40 500
11/32	8,731	4 050	1 3/16	30,163	45 000
3/8	9,525	4 800	1 1/4	31,750	49 700
13/32	10,319	5 600	1 5/16	33,338	54 500
7/16	11,113	6 500	1 3/8	34,925	59 400
15/32	11,906	7 500	1 7/16	36,513	64 500
1/2	12,700	8 500	1 1/2	38,100	70 000
17/32	13,494	9 600	1 9/16	39,688	75 000
9/16	14,288	10 700	1 5/8	41,275	81 500
19/32	15,081	11 900	1 11/16	42,863	87 000
5/8	15,875	13 100	1 3/4	44,450	93 000
21/32	16,669	14 500	1 13/16	46,038	99 000
11/16	17,463	15 800	1 7/8	47,625	106 000
23/32	18,256	17 200	1 15/16	49,213	112 000
3/4	19,050	18 700	2	50,800	119 000

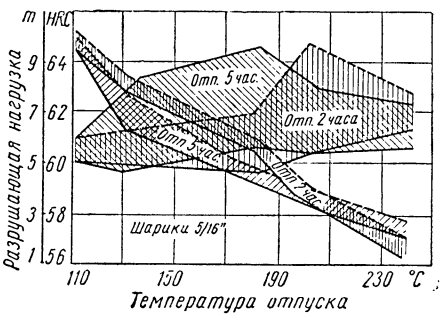
Прочность и пластичность при кручении. Предел прочности при кручении стали ШХ15 имеет максимум при температуре закалки 815° (фиг. 23). При повы-



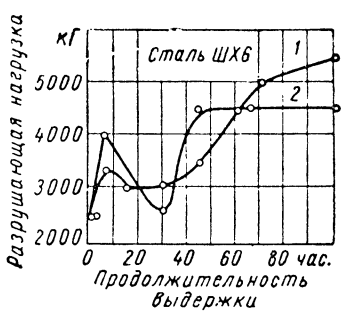
Фиг. 19. Предел прочности при сжатии сталей ШХ15 и ШХ15СГ: *1* — истинное напряжение при разрушении; *2* — условное напряжение при разрушении.



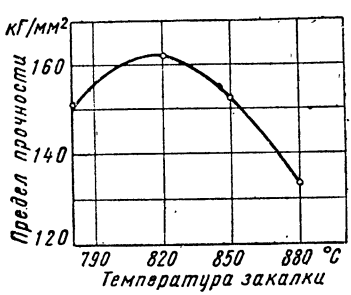
Фиг. 20. Влияние температуры закалки и скорости охлаждения на величину разрушающей нагрузки при сжатии шариков $^5/_8$" (А. С. Шейн и Н. И. Попов).



Фиг. 21. Зависимость разрушающей нагрузки при сжатии от температуры и продолжительности отпуска (VKF).

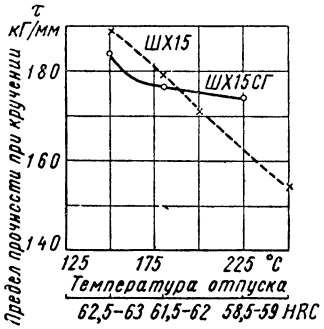


Фиг. 22. Зависимость разрушающей нагрузки шариков $^5/_{16}$" от времени выдержки при 130°: *1* — в закалочной ванне; *2* — в отпускной печи [9].



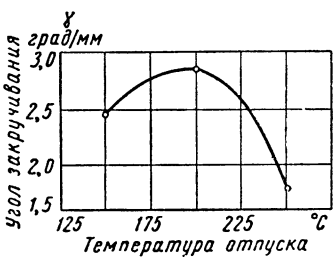
Фиг. 23. Зависимость между температурой закалки и пределом прочности при кручении (Н. Р. Лаптев).

шении температуры отпуска выше 150° предел прочности понижается, причем

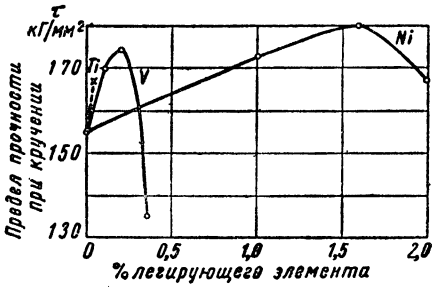


Фиг. 24. Изменение предела прочности при кручении в зависимости от температуры отпуска (Я. Р. Раузин и А. С. Шейн).

у стали ШХ15 это понижение происходит быстрее, чем у стали ШХ15СГ (фиг. 24). Угол закручивания имеет мак-



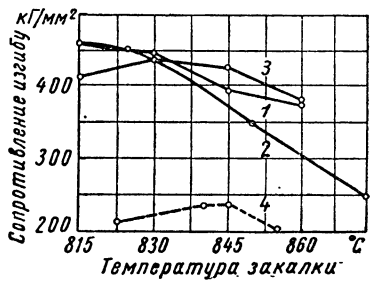
Фиг. 25. Изменение угла закручивания закаленной стали ШХ15 в зависимости от температуры отпуска. Исходная структура — мелкозернистый перлит (А. С. Шейн, Я. Р. Раузин, А. А. Царева).



Фиг. 26. Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на величину предела прочности при кручении (А. С. Шейн, А. А. Царева).

симум при температуре отпуска 180—200° (фиг. 25). Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на величину предела прочности при кручении показано на фиг. 26.

Прочность при статическом изгибе. При исходной структуре зернистого перлита и температуре закалки 840° предел прочности при изгибе имеет максимум; для более дисперсных исходных структур максимум смещается к температурам 800—815° (фиг. 27). Зависимость преде-



Фиг. 27. Влияние исходной структуры стали ШХ15 на сопротивление изгибу: *1*, *2* — мелкозернистый перлит; *3*, *4* — зернистый перлит [2], [10].

ла прочности при изгибе от твердости, достигаемой при различных режимах отпуска, показана в табл. 10.

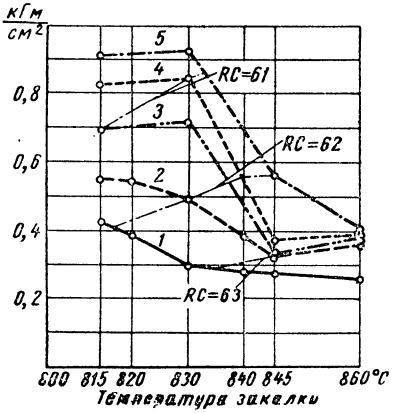
10. Предел прочности при изгибе

Температура отпуска в °С	Твердость *HRC*	Условный предел прочности [1] в *кГ/мм²*		
		ШХ9	ШХ15	ШХ15СГ
215—220	58,5—59	260—280	320—330	320—330
170—180	60,5—61	230—250	270—280	290—300
140—150	62,5—63	200—220	250—260	270—280

[1] Образец квадратного сечения 10×10 *мм* без надреза.

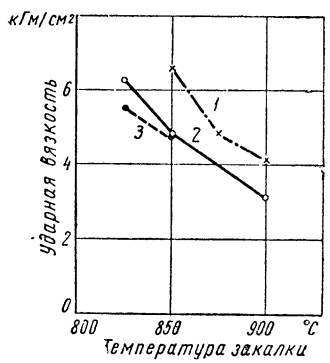
Ударная вязкость при изгибе. Влияние температуры закалки и исходной структуры на ударную вязкость подшипниковой стали показано на графике фиг. 28 и 29.

При испытаниях призматических образцов с надрезом было обнаружено понижение ударной вязкости шарикоподшип-



Фиг. 28. Влияние исходной структуры на ударную вязкость закаленной стали (образец с надрезом): *1* — мелкопластинчатый перлит; *2* — точечный перлит; *3* — мелкозернистый перлит; *4* — зернистый перлит; *5* — крупнозернистый перлит [2].

никовой стали при температуре отпуска 225° (фиг. 30). У цилиндрических и призматических образцов без надреза удар-

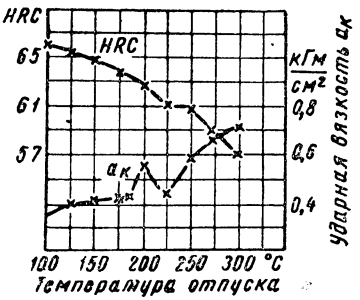


Фиг. 29. Влияние исходной структуры на ударную вязкость закаленной стали ШХ15 (А. С. Шейн и А. А. Царева): *1* — зернистый перлит; *2* — мелкозернистый перлит; *3* — мелкопластинчатый перлит (образец цилиндрический диаметром 12×80 *мм* без надреза).

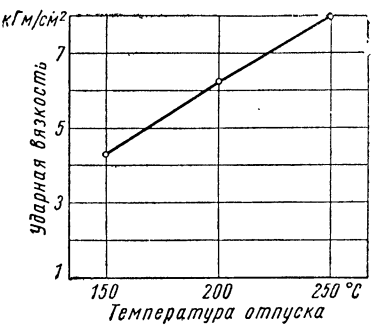
ная вязкость непрерывно увеличивается с повышением температуры отпуска (фиг. 31).

При испытании на ударное кручение имеется интервал температур отпуска в котором происходит значительное понижение ударной вязкости (фиг. 32).

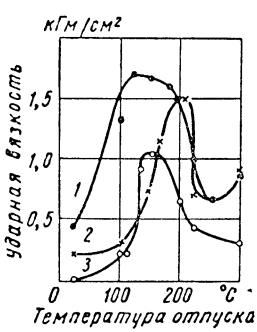
Обработка холодом понижает ударную вязкость при изгибе закаленной стали



Фиг. 30. Изменение твердости и ударной вязкости стали ШХ9 при отпуске [11].

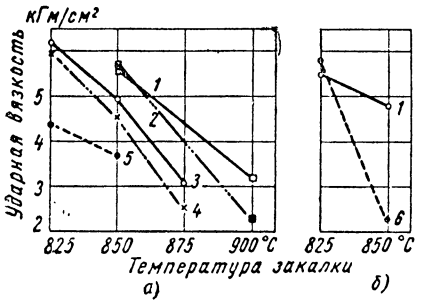


Фиг. 31. Влияние температуры отпуска на ударную вязкость стали ШХ15 (Б. Я. Башкирова и А. А. Царева). Образец цилиндрический диаметром 12×80 *мм*, без надреза; закалка с 850°. в масле.



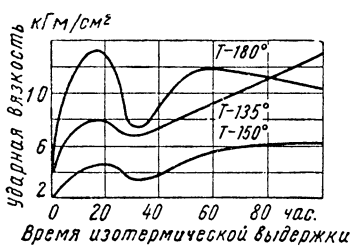
Фиг. 32. Изменение вязкости стали ШХ15 при ударном кручении (В. Е. Садовский и Вьяль): *1* — мелкозернистый перлит; *2* — мелкопластинчатый перлит; *3* — крупнозернистый перлит.

в тем большей степени, чем выше температура закалки и чем больше степень переохлаждения (фиг. 33). При переохлаждении до —30° понижение ударной вязкости незначительное. Повышение температуры закалочной среды (ступен-



Фиг. 33. Влияние температуры закалочной среды и степени переохлаждения при закалке на ударную вязкость стали ШХ15 (А. С. Шейн и А. А. Царева): *а* — исходная структура — мелкозернистый перлит; *б* — исходная структура — тонкопластинчастый перлит; *1* — закалка в масле 150°; охлаждения до +20°; отпуск 150°; *2* — закалка в масле 150°, охлаждение до —30, отпуск 150°; *3* — закалка в масле 40°, охлаждение до +20; отпуск 150°; *4* — закалка в масле 40°, охлаждение до —30°, отпуск 150°; *5* — закалка в масле 40°, охлаждение до —70°, отпуск 150°; *6* — закалка в масле 150°, охлаждение до —70°, отпуск 150°.

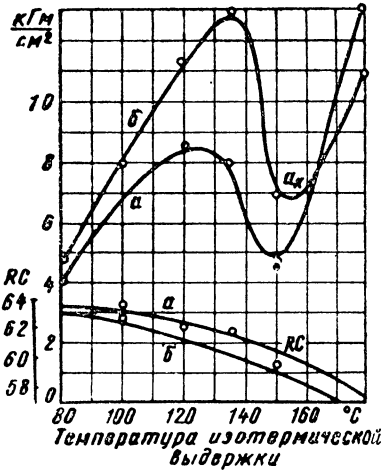
чатая закалка) полностью компенсирует отрицательное влияние обработки холодом при —70° в тех случаях, когда закалка произведена при нормальной температуре.



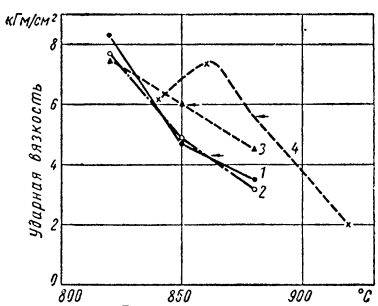
Фиг. 34. Зависимость ударной вязкости стали от времени изотермической выдержки при 135, 150 и 180° [9].

Применение изотермической закалки с длительными выдержками в закалочной ванне позволяет значительно повысить ударную вязкость при изгибе закаленной стали (фиг. 34, 35).

Шарикоподшипниковая сталь, имеющая резко выраженную карбидную неоднородность, обладает значительно пониженной прочностью при многократных



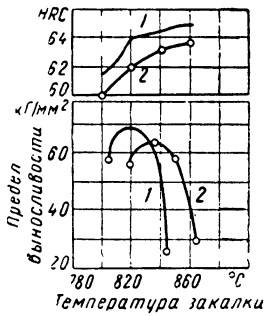
Фиг. 35. Изменение ударной вязкости и твердости стали ШХ15 в зависимости от температуры закалочной ванны: *а* — продолжительность изотермической выдержки 15 час.; *б* — продолжительность изотермической выдержки 100 час. [2].



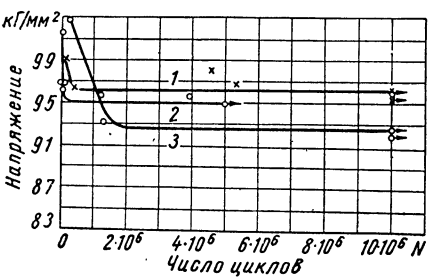
Фиг. 36. Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на ударную вязкость (А. С. Шейн и А. А. Царева): *1* — сталь ШХ15; *2* — сталь ШХ15 + 0,04% Ti; *3* — сталь ШХ15 + +1,6% Ni; *4* — сталь ШХ15 + 0,20%V (образец без надреза диаметром 12 × 80 *мм*). Стрелками показаны значения ударной вязкости соответствующие твердости *HRC* 63.

ударных нагрузках. Никель и ванадий в оптимальных количествах повышают ударную вязкость шарикоподшипниковой стали (фиг. 36).

Усталостная прочность. Величина предела выносливости при знакопеременном изгибе шарикоподшипниковой стали, термически обработанной по оптимальному режиму, по данным разных исследователей колеблется в пределах от 65—70 [5] до 80 [5]—95 *кГ/мм²* (Г. В. Карпенко).



Фиг. 37. Изменение предела усталости стали в зависимости от температуры закалки [5]: *1* — нормализация, закалка и отпуск 150°; *2* — отжиг, закалка и отпуск 150°.



Фиг. 38. Влияние рабочей среды на усталостную прочность закаленной стали ШХ15 (Г. В. Карпенко).
Частота нагружения 3000 циклов в мин.: *1* — керосин, $\sigma_{-1}=96$ *кГ/мм²*; *2* — воздух, $\sigma_{-1}=95$ *кГ/мм²*; *3* — масло, $\sigma_{-1}=93$ *кГ/мм²*

Предел выносливости закаленной шарикоподшипниковой стали весьма чувствителен к изменению температуры закалки (фиг. 37) и имеет максимум при температурах, приблизительно соответствующих концентрации 0,55—0,60% углерода в аустените. Зависимость предела выносливости от температуры отпуска показана в табл. 11.

11. Влияние температуры отпуска на предел выносливости при изгибе закаленной стали ШХ15 (Я. Р. Раузин, А. С. Шейн)

Температура отпуска в °С	Твердость *HRC*	Предел выносливости в *кГ/мм²*
150	62,5—63	66,5
180	60,5—61	73,0
220	58,5—59	64,0

При испытании на усталость в разных средах — в масле, керосине и на воздухе — разница в величине предела выносливости составляет около 5% (фиг. 38).

Контактная усталостная прочность (выносливость). Контактная выносливость стали ШХ15 резко падает с увеличением размеров неметаллических включений (фиг. 39) и с повышением карбидной неоднородности (табл. 12).

Контактная выносливость при испытании в различных средах возрастает с повышением смазывающей способности и вязкости этих сред (табл. 13).

12. Контактная выносливость стали, имеющей повышенную карбидную неоднородность и загрязненность неметаллическими включениями [22]

Марка стали	Характеристика стали, размеры образца и место его вырезки из штанги ∅ 90 *мм*	Контактная выносливость в ч	
		Продольные образцы	Поперечные образцы
ШХ9	С карбидной ликвацией. Центральная зона. Образцы диаметром 15 *мм*; $R_1=7{,}5$ *мм*; $R_2=5$ *мм*; $P=250$ *кГ*	100	25
ШХ9	То же после диффузионного отжига	106	25
ШХ9	С карбидной ликвацией; поверхность штанги	106	—
ШХ9	С карбидной ликвацией; перекована на диаметр 20 *мм*	235	—
ШХ9	То же после диффузионного отжига	250	—
ШХ15	С карбидной ликвацией, загрязненная крупными силикатными включениями; центральная зона штанги. Составные образцы диаметром 15 *мм*; $R_1=7{,}5$ *мм*; $R_2=5$ *мм*; $P=150$ *кГ*	80	16
ШХ15	То же после диффузионного отжига	80	30

13. Контактная выносливость стали ШХ15 при испытании в различных средах [7]

Режим термической обработки	Средняя долговечность в миллионах циклов при испытании	
	в масле	в керосине
Обычная термообработка: закалка с 840° в масле, отпуск 150° .	630	90
Изотермическая закалка по режиму, разработанному [9]	192	138

Контактная выносливость сталей ШХ15 и ШХ15СГ с повышением температуры закалки до 850—860° увеличивается, а при дальнейшем повышении температуры закалки падает (фиг. 40, 41). Закалка от повышенной температуры в горячем масле повышает контактную выносливость.

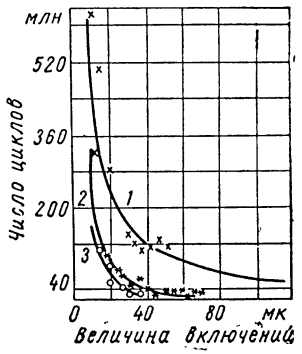
Обработка холодом повышает контактную выносливость стали ШХ15 при «мягких» режимах закалки и понижает ее при «жестких» режимах закалки (фиг. 40). Обработка холодом с замедленным охлаждением в интервале температур от +50 до —60° повышает контактную выносливость стали ШХ15 и понижает контактную выносливость стали ШХ15СГ, более чувствительной к образованию дефектов при обработке холодом, чем сталь ШХ15 (фиг. 42).

Повышение температуры отпуска свыше 180° ведет к понижению контактной выносливости. В интервале температур отпуска 150—180° изменение контактной выносливости и срока службы подшипников незначительно; иногда наблюдается увеличение выносливости при отпуске 180° по сравнению с отпуском 150° (табл. 14 и фиг. 43).

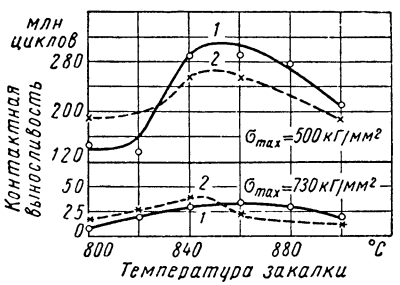
Цементация стали ШХ15, повышая содержание углерода в рабочем слое до 2—3%, значительно увеличивает контактную выносливость, несмотря на одновременное понижение предела выносливости при знакопеременном изгибе и ударной вязкости (фиг. 44). Влияние различных легирующих добавок к стали ШХ15 на контактную выносливость показано на диаграмме фиг. 45. Добавки V и Ni повышают контактную выносливость.

14. Влияние температуры отпуска на изменение контактной выносливости закаленной стали по экспериментальным данным

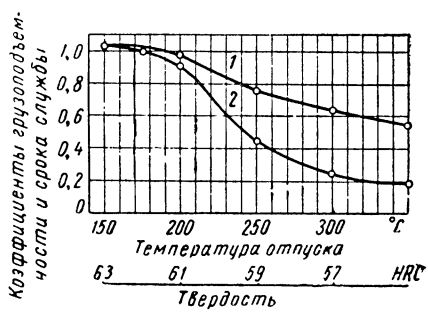
Марка стали	Долговечность в часах после отпуска при температуре в °С								Условия испытания
	150	180	200	250	300	350	400	450	
ШХ15	230	—	205	50	115	—	—	—	Испытания на машинах МИД-4. Качение шара ⌀ 14,8 *мм* между двумя цилиндрическими кольцами ⌀ 150 *мм*; $P = 150$ *кГ*; $n = 17\,500$ об/мин [8]
ШХ15	290	—	—	200	—	—	—	—	Испытание на машинах МИД-4. Обкатывание шара ⌀ 15 *мм* между кольцами ⌀ 150 *мм*. $P = 150$ *кГ*; $n = 17\,500$ об/мин (А. С. Шейн и В. Ф. Горшкова)
ШХ15СГ	400	470	—	250	—	—	—	—	Испытание на машинах ЦКБ43. Качение шара ⌀ 15 *мм* между двумя цилиндрическими кольцами. ⌀ — 250 *мм*; $P = 250$ *кГ*; $n = 11\,000$ об/мин (Я. Р. Раузин, А. С. Шейн, В. Ф. Горшкова)
ШХ15 ШХ15СГ	15,1 18,2	— —	13,6 14,1	8,6 9,6	6,3 6,6	3,6 2,8	1,3 1,6	1,3 0,8	Испытание на машинах типа МИД. Качение цилиндрического образца ⌀ 6 *мм* между двумя кольцами ⌀ 150 *мм*; $P = 106$ *кГ*; $n = 6250$ об/мин (И. М. Сахонько)



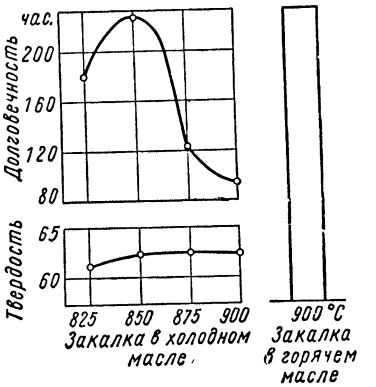
Фиг. 39. Влияние величины глобулярных включений на контактную усталость при разных контактных напряжениях [6]: *1* — радиус кривизны образца $R_2 = 9$ *мм*; *2* — $R_2 = 5$ *мм*; *3* — $R_2 = 2$ *мм*. Диаметр образца равен 15 *мм*. $R_1 = 7{,}5$ *мм*.



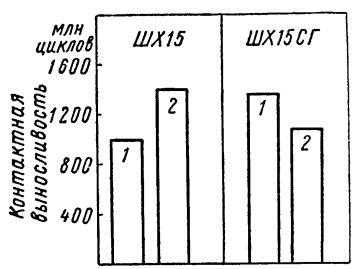
Фиг. 40. Зависимость между контактной выносливостью и температурой закалки стали ШХ15 (Д. С. Ларионова и Н. П. Сизова): *1* — закалка + отпуск 150°; *2* — закалка, охлаждение до —70°, отпуск 150.



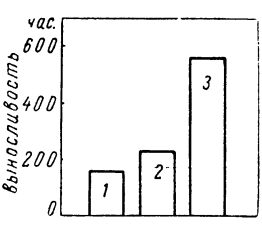
Фиг. 43. Влияние температуры отпуска на грузоподъемность и срок службы подшипников; *1* — грузоподъемность; *2* — срок службы (данные фирмы SKF).



Фиг. 41. Влияние температуры закалки и условий охлаждения на контактную выносливость сгали ШХ15 (А. С. Шейн, А. А. Царева, З. В. Павлова). Условия испытаний: $P = 200$ *кГ*, $n = 17\,500$ об/мин. Диаметр образца 15 *мм*; $R_1 = 7{,}5$ *мм*, $R_2 = 5$ *мм*.



Фиг. 42. Влияние обработки холодом на контактную выносливость сталей ШХ15 и ШХ15СГ (А. С. Шейн и В. Ф. Горшкова): *1* — закалка в масле, отпуск; *2* — закалка в масле, медленное охлаждение до — 60°, отпуск 150. Испытание при $\sigma_{max} = 400$ *кг/мм²*, $n = 17\,500$ об/мин.

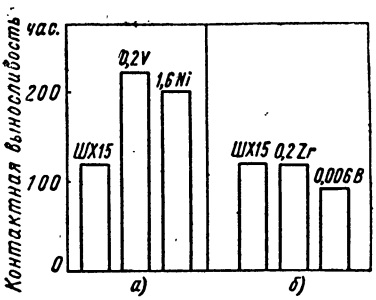


Фиг. 44 Контактная выносливость цементированной стали ШХ15 (Башкиров и Царева): *1* — закалка + отпуск 150° (без цементации); *2* — то же, по данным В. К. Григорбвича; *3* — цементация при 950°, закалка с 850°, отпуск 150°. Условия испытания: $P = 150$ *кГ*, $n = 17\,500$ об/мин.

Износоустойчивость определяется условным относительным износом h по формуле:

$$h = \frac{w}{FS},$$

где W — потеря в весе в *мг*; F — площадка контакта в $см^2$; S — пройденный путь в *м*.



Фиг. 45. Влияние легирующих элементов на контактную выносливость стали ШХ15 (А. С. Шейн, А. А. Царева, С. Ф. Белков): *а* — средние значения по испытаниям 40 образцов (четырех плавок) каждого состава; *б* — средние значения по испытаниям десяти образцов каждого состава.

Сравнение величины условного относительного износа h сталей ШХ15 и ШХ15СГ при различной твердости показано в табл. 15.

15. Относительный износ[1] сталей ШХ15 и ШХ15СГ (Я. Р. Раузин, А. С. Шейн)

Марка стали	h в $мГ/см^2 \cdot м$ при твердости *HRC*	
	58—59	61—62
ШХ15	2,7	2,4
ШХ15СГ	2,7	2,5

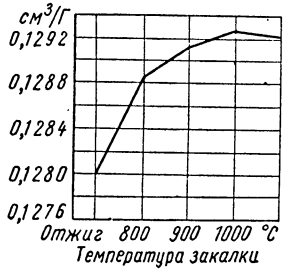
[1]Испытание качением ролика по ролику без смазки с проскальзыванием до 10% и относительным поперечным перемещением 1 *мм*; нагрузка 100 *кГ*; контактная площадка 0,015 *мм*.

Физические свойства шарикоподшипниковых сталей

Физические свойства стали ШХ15 характеризуются табл. 16—19 и на графиках фиг. 46—48.

16. Удельный вес стали ШХ15 в зависимости от термообработки [13], [14]

Термообработка	Удельный вес в $Г/см^3$	Удельный объем в $см^3/Г$
Отжиг при 790—800°	7,8120	0,1280
Закалка в воде с 800°; отпуск при 150°	7,7573	0,1288
Закалка в масле с 865°; отпуск при 150°	7,7882	0,1284
Закалка в воде или в масле с 600° и отпуск при 150° . . .	7,8120	0,1280



Фиг. 46. Удельный объем стали ШХ15 в зависимости от температуры закалки (охлаждение в воде) [12].

17. Коэффициент линейного расширения стали ШХ15 в зависимости от температуры

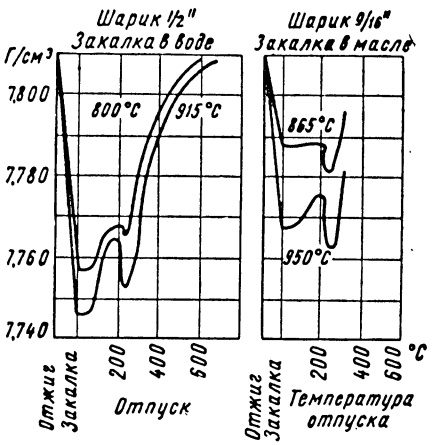
Температура в °С	0	100	200	300	400
$\alpha \cdot 10^6$	11,9	13,0	13,9	14,6	15,0
Температура в °С	500	600	700	850	900
$\alpha \cdot 10^6$	15,2	15,2	15	24	30

18. Теплопроводность стали ШХ15 в зависимости от температуры

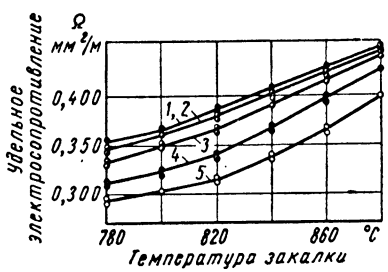
Температура в °С	Теплопроводность в $кал/см \cdot сек \cdot °С$
100	0,095
600	0,083
900	0,075

19. Магнитные свойства стали ШХ15 (Н. Н. Сирота)

Состояние стали	Коэрцитивная сила в эрстедах	Остаточная индукция в градусах	Максимальная индукция в гауссах
После отжига	14	14 000	19 000
После закалки 850° и отпуска 150°	53	9 000	15 500



Фиг. 47. Изменение удельного веса стали ШХ15 при закалке и отпуске [14].



Фиг. 48. Удельное электросопротивление стали ШХ15 в зависимости от температуры закалки (выдержка 15 мин.) [2]. Исходные структуры — перлит: *1* — мелкопластинчатый; *2* — пластинчатый; *3* — точечный; *4* — мелкозернистый; *5* — крупнозернистый.

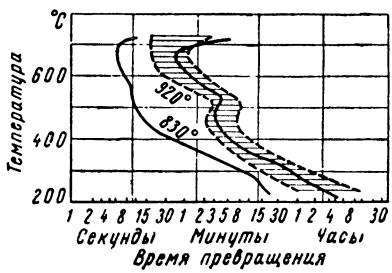
Удельное электросопротивление

Удельное электросопротивление стали ШХ15 после отжига при 800° равно 0,20 *ом · мм²/м*.

Влияние исходной структуры и температуры закалки на величину удельного электросопротивления закаленной стали показано на фиг. 48. С измельчением исходной структуры и повышением температуры закалки электросопротивление резко возрастает.

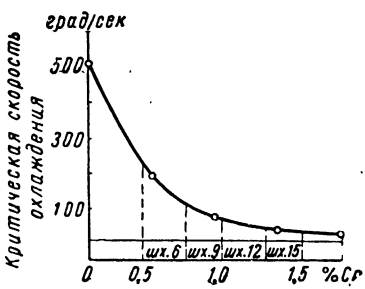
Прокаливаемость стали характеризуется критической, т. е. минимальной скоростью охлаждения, при которой в процессе закалки образуется мартенситная структура.

Диаграмма изотермического превращения аустенита в стали ШХ15 приведена на фиг. 49. Зависимость критической



Фиг. 49. Диаграмма кинетики изотермических превращений для стали ШХ15 (Д. А. Зюзин, В. Д. Садовский).

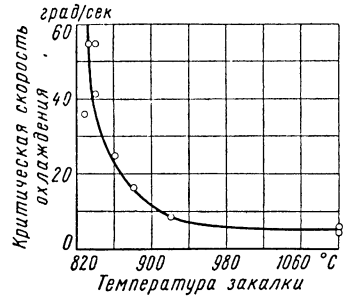
скорости охлаждения от содержания хрома в подшипниковых сталях показана на фиг. 50, а от температуры закал-



Фиг. 50. Критическая скорость охлаждения для хромоуглеродистых сталей (А. К. Чебурков).

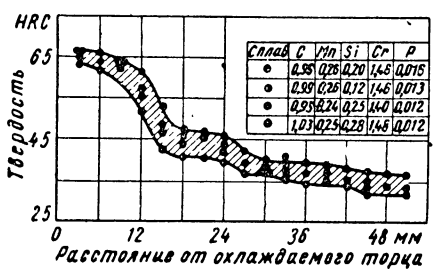
ки — на фиг. 51. Диаграммы прокаливаемости сталей ШХ15 и ШХ15СГ, полученные методом торцовой закалки, приведены на фиг. 52—54.

Повышение содержания хрома по мере перехода от стали ШХ6 к стали ШХ15 понижает критическую скорость охлаж-

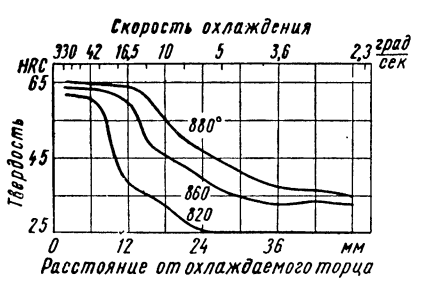


Фиг. 51. Зависимость между температурой закалки и критической скоростью охлаждения стали ШХ15. Данные исследований: О — Т. Н. Зюзина и В. Д. Садовского; ● — А. С. Шейна и А. А. Царевой; □ — А. П. Гуляева, А. Н. Советиновой, Б. М. Зельбет.

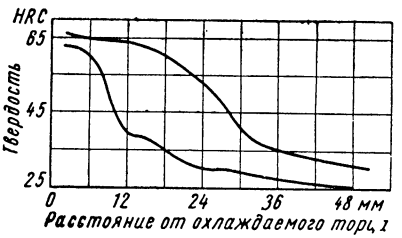
дения и тем самым увеличивает прокаливаемость стали. Аналогичным образом действует повышение температуры закалки. Сталь ШХ15СГ обладает значительно большей прокаливаемостью, чем



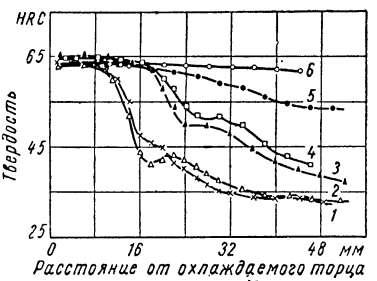
Фиг. 52. Прокаливаемость разных плавок стали ШХ15 [16].



Фиг. 53. Прокаливаемость стали ШХ15 в зависимости от температуры закалки (А. С. Шейн и А. А. Царева).



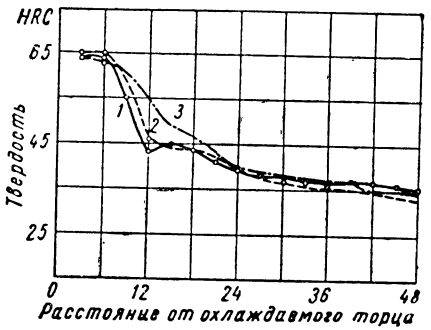
Фиг. 54. Прокаливаемость шарикоподшипниковых сталей: *1* — ШХ15, закалка 840°; *2* — ШХ15СГ, закалка 830° (И. Н. Лагунцов, Е. И. Лагунцова, С. Ф. Белков).



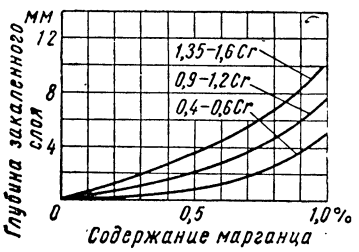
Фиг. 55. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость стали ШХ15 (А. С. Шейн и А. А. Царева): *1* — сталь ШХ15 без добавок; *2* — сталь ШХ15 + +0,11 %V; *3* — сталь ШХ15 + 20 %V; *4* — сталь ШХ15 + 0,31%V; *5* — сталь ШХ15 + +1% Ni; *6* — сталь ШХ15 + 1,5 %Ni.

хромистые стали. Влияние легирующих добавок на прокаливаемость, определенную торцовым методом, показано на фиг. 55—56. Легирование никелем, а также ванадием (при содержании ванадия свыше 0,2%) повышает прокаливаемость стали; добавки титана, бора и циркония оказывают незначительное влияние.

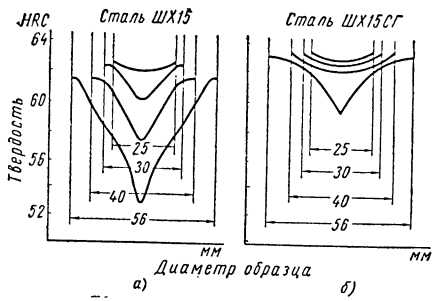
Зависимость глубины закаленного слоя в образце диаметром 60 *мм* от содержания хрома и марганца в стали показана на фиг. 57. Сопоставление прокаливаемости сталей ШХ15 и ШХ15СГ представлено на фиг. 58. Влияние скорости охлаждения при закалке на прокаливаемость стали ШХ15 приводится на фиг. 59. В табл. 20 приводится распределение твердости по сечению крупных шаров из стали ШХ15 после закалки в водном растворе поваренной соли. Диаметры роликов, прокаливающихся в масле насквозь, приводятся в табл. 21.



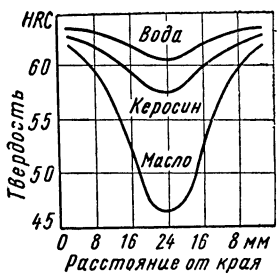
Фиг. 56. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость стали ШХ15 (С. Ф. Белков, О. И. Мартишин, Н. М. Федотова): *1* — ШХ15; *2* — ШХ15 + 0,006% В; *3* — ШХ15 + 0,20 % Zr.



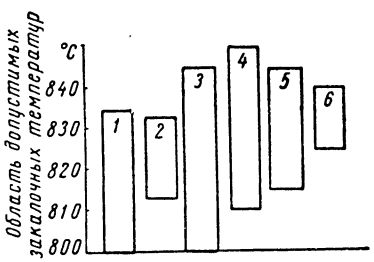
Фиг. 57. Зависимость прокаливаемости стали от содержания хрома и марганца. Закалка с 830° в масле 50°.



Фиг. 58. Прокаливаемость сталей ШХ15 и ШХ15СГ. Распределение твердости по сечению роликов разного диаметра (И. Н. Лагунцов, и Е. И. Лагунцова, С. Ф. Белков): *а* — сталь ШХ15, закалка с 840—850° в масле; *б* — сталь ШХ15СГ, закалка с 830° в масле.



Фиг. 59. Сравнительная прокаливаемость стали ШХ15 в воде, керосине и масле.



Фиг. 60. Область допустимых закалочных температур для различных исходных структур [2]: *1* — тонкопластинчатый перлит; *2* — пластинчатый перлит; *3* — точечный перлит; *4* — мелкозернистый перлит; *5* — зернистый перлит; *6* — крупнозернистый перлит.

20. Распределение твердости по сечению шаров после закалки в 5%-ном водном растворе NaCl и отпуска при 150° (Я. П. Селисский и А. С. Шейн)

Диаметр шара в *мм*	Режим нагрева под закалку (нагрев в двух соляных ваннах)		Твердость *HRC*												
			Расстояние от поверхности в *мм*												
	Температура в °С	Время в мин.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	100
75	770 840	17 10	64	59	48	39	34	29	29	28	—	—	—	—	—
100	780 840	15 10	64	61	45	36	32	31	31	28	28	28	29	—	—
100	780 880	15 10	64	64	63	57	50	46	43	43	42	42	36	—	—
150	800 860	30 20	65	63	54	45	42	41	39	38	38	38	37	35	—
150	840—850	Полный прогрев	65	63	40	34	30	29	28	28	26	25	25	21	—
200	780 880	40 30	64	64	57	43	43	38	38	36	36	35	35	33	31

21. Диаметр цилиндрических роликов, прокаливающихся насквозь (до твердости *HRC* 61 в центре)

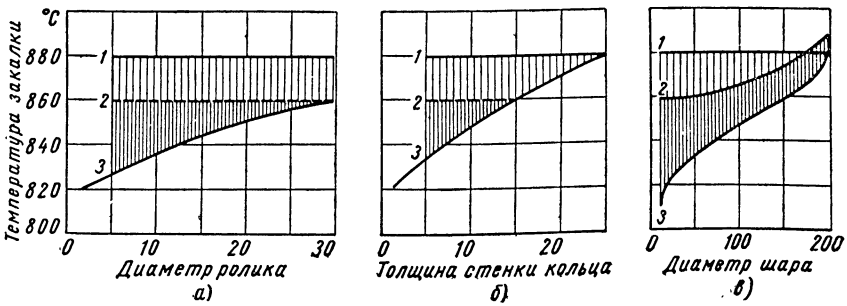
Марка стали	Наибольший диаметр ролика в *мм*
ШХ6	12
ШХ9	14—15
ШХ15	23—25
ШХ15СГ	60—70

Практическое применение различных подшипниковых сталей для деталей разных сечений показано в табл. 22.

22. Область применения разных марок шарикоподшипниковой стали

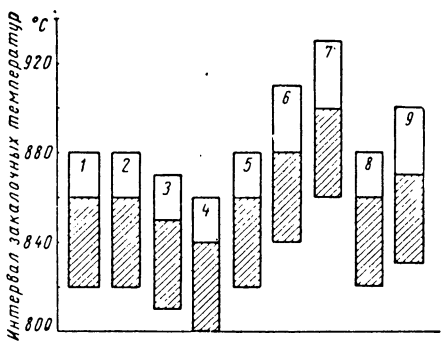
Марка стали	Размеры изготовляемых деталей в *мм*		
	Кольца с толщиной стенки	Ролики диаметром	Шарики диаметром
ШХ6	—	До 10	До 13,5
ШХ9	—	10—15	От 13,5 до 22,5
ШХ15	До 15—20	15—25	Выше 22,5 до 200
ШХ15СГ	Более 15—20	Более 25	—

Интервал закалочных температур. Величина закалочного интервала температур — одна из характеристик технологичности стали при термической обработке — зависит от состава и способа изготовления стали, степени уковки, исходной структуры. Обычно при исследованиях определяют максимальный интервал, нижняя граница которого соответствует температуре, при которой достигается нижний предел твердости при удовлетворительной структуре, а верхняя граница — температуре, до которой сохраняется «безыгольчатая» структура мартенсита и мелкозернистое строение излома. Верхняя граница максимального интервала закалочных температур для стали ШХ15 по данным ранних исследований не превышала 850° (фиг. 60); исследования послевоенных лет установили, что верхняя граница для стали ШХ15 с исходной структурой мелкозернистого перлита соответствует 870—880°. В практических условиях положение нижней границы зависит от размеров (толщины) детали, а положение верхней границы определяется температурой, при которой сталь приобретает повышенную склонность к образованию поверхностных закалочных трещин (фиг. 61).



Фиг. 61. Изменение величины и положения максимального и оптимального интервала закалочных температур в зависимости от сечения детали; *а* — для ролика (закалка в масле); *б* — для кольца (закалка в масле); *в* — для шарика (закалка в воде); *1* — верхняя граница максимального интервала; *2* — верхняя граница оптимального интервала; *3* — нижняя граница.

Положение и величина оптимального закалочного интервала определяются из условий реализации оптимального комплекса свойств стали, обеспечивающего наиболее высокую работоспособность подшипников. В общем случае, для закалки в масле нижняя граница оптимального закалочного интервала лежит



Фиг. 62. Влияние легирующих элементов на величину и положение интервала закалочных температур (А. С. Шейн и А. А. Царева): *1* — ШХ15; *2* — 1%Ni; *3* — 1,6%Ni; *4* — 2%Ni; *5* — 0,11 %V; *6* — 0,20 %V; *7* — 0,34 %V; *8* — 0,04 %Ti; *9* — 0,21 % Ti.

для стали ШХ15 при 830—840°, а верхняя при 855—860°, для стали ШХ15СГ соответственно при 810—820° и 840—845°. Добавки циркония (до 0,3%) и бора (до 0,006%) не изменяют положения и величины закалочного интервала. Влияние ванадия, никеля и титана на положение закалочного интервала показано на диаграмме фиг. 62, где заштрихованная часть диаграммы представляет собой оптимальный интервал.

Изменение размеров при термической обработке

Изменение размеров деталей при термической обработке складывается из четырех компонентов:

а) изменения размеров, соответствующего разнице удельных объемов закаленной и незакаленной стали,

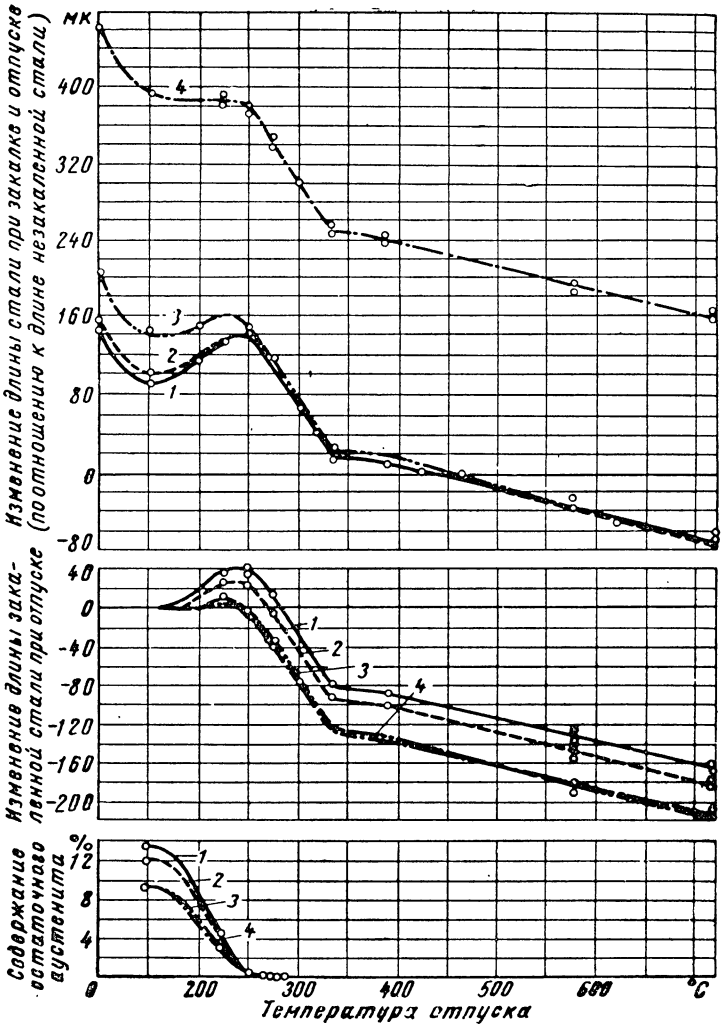
$$\Delta l_1 = \frac{(V_A A + V_M M) - V_П}{3},$$

где V_A, V_M и $V_П$ — удельные объемы аустенита, мартенсита и перлита; A и M — относительные количества аустенита и мартенсита;

б) изменения размеров за счет пластической деформации Δl_2, вызываемой тепловыми напряжениями, обусловленными наличием температурного градиента по сечению детали при быстром охлаждении;

в) пластической деформации Δl_3, вызываемой структурными напряжениями, обусловленными структурными превращениями, происходящими в разное время в наружных и внутренних слоях детали из-за наличия градиента температуры по сечению;

г) деформации Δl_4, соответствующей изменению удельного объема закаленной стали при отпуске.

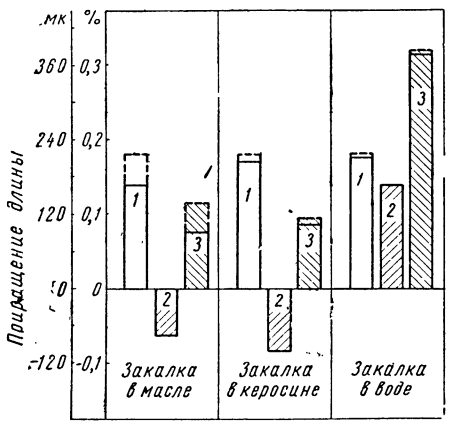


Фиг. 63. Влияние скорости охлаждения и степени переохлаждения стали ШХ15 в процессе закалки на приращение линейных размеров при закалке и отпуске [17]. Температура закалки 850—860°. Исходная структура — зернистый перлит; образец диаметром 8×120 *мм*; *1* — закалка в масле 50°, охлаждение на воздухе до 15°, отпуск; *2* — закалка в масле 50°, охлаждение в воде до +20°, отпуск; *3* — закалка в масле 50°, охлаждение на воздухе до 20°, дополнительное охлаждение до —70°, отпуск; *4* — закалка в воде 20°, отпуск 150°.

Изменение размеров стали ШХ15 при закалке в воде и при закалке в масле 50° с охлаждением до комнатной температуры и до температуры —70° показано на фиг. 63.

Разница в изменении размеров стали при разной степени переохлаждения обусловлена только разницей в удельных объемах стали в связи с разным содержанием остаточного аустенита. Поэтому после разложения аустенита при отпуске 250—270° изменения размеров стали, охлажденной при закалке до + 20°, и стали, переохлажденной при закалке до

—70°, одинаковы. Высокий отпуск (отжиг) приводит структуру и удельный объем стали к исходному, однако линейные размеры не возвращаются к дозакалочным: для случая закалки в масле они меньше, а для случая закалки в воде — больше исходного размера. Эта разница представляет собой изменение размеров, соответствующее пластической деформации. Таким образом, величина пластической компоненты деформации может быть



Фиг. 64. Влияние скорости охлаждения при закалке на изменение размеров стали ШХ15. Образец диаметром 8 × 120 *мм*, закалка с 850° в соляной ванне. Условные обозначения: ——— отпуск 150°,— — отпуск 250° [17]: *1* — изменение размеров, соответствующие разнице в удельных объемах закаленной и отожженной стали ($\Delta l_1 + \Delta l_4$); *2* — пластическая деформация $\Delta l_2 + \Delta l_3$); *3* — общее (суммарное) изменение размеров при термообработке.

экспериментально определена посредством отпуска (отжига) закаленной стали и сравнения ее размеров с дозакалочными. При закалке в масле отрицательная величина пластической деформации, обусловленной тепловыми напряжениями (Δl_2), больше пластической деформации, вызванной структурными напряжениями (Δl_3), и поэтому суммарная пластическая деформация ($\Delta l_2 + \Delta l_3$) отрицательна при закалке в воде положительная деформация, обусловленная структурными напряжениями, преобладает над деформацией, обусловленной тепловыми напряжениями, и поэтому суммарная пластическая деформация положительна.

Изменение компонентов деформации и суммарное изменение размеров стали ШХ15 в зависимости от скорости охлаждения при закалке (охлаждение в масле, керосине, воде) показано на диаграмме фиг. 64.

Суммарное изменение размеров колец и компоненты деформации при закалке с вращением в охлаждающей среде приведены на диаграмме фиг. 65.

При двойной закалке к общему изменению размеров, полученному при повторной закалке (такому же, как при первой закалке), прибавляется пластическая деформация, полученная при первой закалке (фиг. 66).

Изменение размеров образцов стали ШХ15 в зависимости от температуры закалочной среды и степени переохлаждения показано на фиг. 67.

Между содержанием остаточного аустенита и приращением длины стали ШХ15 при закалке существует линейная зависимость, изображенная для образца диаметром 5 × 150 *мм* на фиг. 68.

Влияние исходной структуры на изменение размеров образцов сталей ШХ15 и ШХ15СГ при термообработке показано на фиг. 69 и 70.

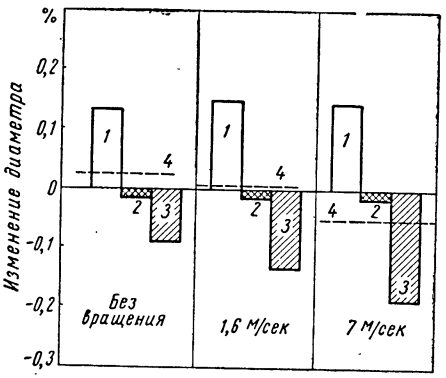
Изменение размеров колец после нормальной термообработки не пропорционально их диаметру (фиг. 71). Это обусловлено увеличением толщины колец по мере увеличения их диаметра и увеличением в них, в связи с этим, количества остаточного аустенита. Поэтому после отпуска при 250° линейный характер зависимости восстанавливается. Зависимость между изменением размеров колец и толщиной их сечения показана на фиг. 72.

Коробление (изменение формы) колец в процессе термической обработки вызывается неравномерным изменением линейных размеров по окружности кольца под влиянием тех же факторов, которыми определяется общее изменение размеров при закалке.

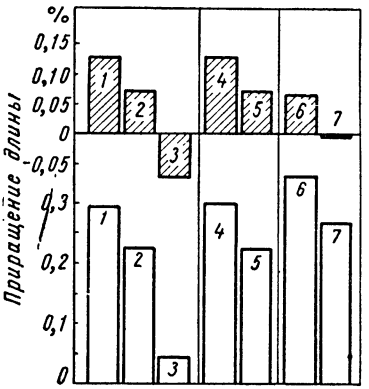
Среднее изменение овальности колец при термической обработке может быть определено по формуле

$$O = K\lambda \text{ мм},$$

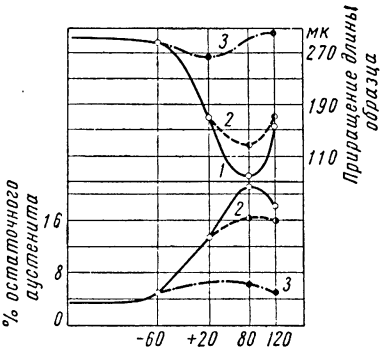
где $\lambda = \frac{D^2}{10000\, s_{max}}$; O — геометрический фактор, характеризующий степень нежесткости кольца; D — наружный диаметр; s_{max} — максимальная толщина; K — коэффициент, характеризующий способ закалки и не зависящий от размеров кольца и формы его сечения (А. Г. Спектор).



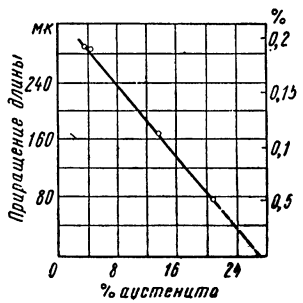
Фиг. 65. Общее изменение размеров колец и компоненты деформации в зависимости от скорости вращения колец в закалочном масле (А. Г. Спектор): *1* — объемная деформация; *2* — угар; *3* — упруго-пластическая деформация; *4* — суммарная деформация для данного случая.



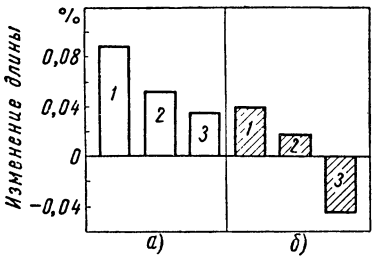
Фиг. 66. Изменение размеров образцов из стали ШХ15 при термообработке [17]: *а* — закалка в масле; *б* — закалка в воде; *1* — изменение длины при первой закалке; *2* — после отпуска 150°; *3* — после высокого отпуска 720°; *4* — изменение размеров при повторной закалке; *5* — после отпуска 150°; *6* — суммарное изменение размеров при двойной закалке; *7* — после отпуска 150°.



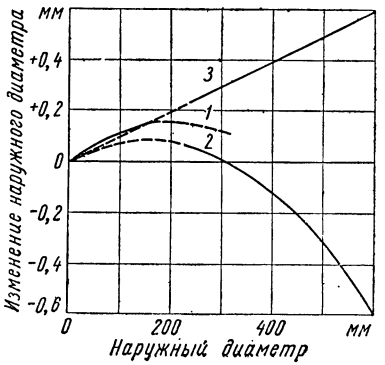
Фиг. 67. Изменение размеров образцов из стали ШХ15 при термообработке в зависимости от температуры закалочной среды и степени переохлаждения при закалке [18]: *1* — изотермическая закалка, выдержка 10 мин., отпуск 150°; *2* — изотермическая закалка, выдержка 10 мин., охлаждение до комнатной температуры, отпуск 150°; *3* — изотермическая закалка, выдержка 10 мин., охлаждение до —60°, отпуск 160°.



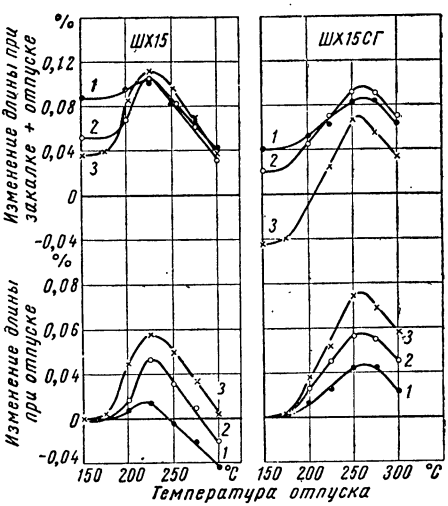
Фиг. 68. Зависимость между содержанием остаточного аустенита и приращением длины стали ШХ15 при закалке (А. С. Шейн). Закалка 850° в масле, отпуск 150°.



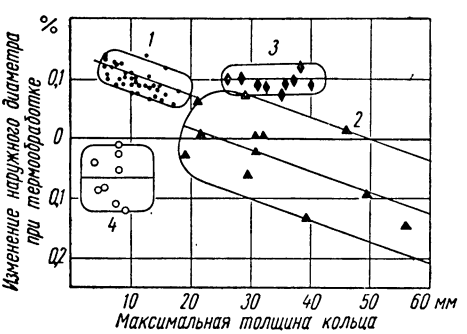
Фиг. 69. Изменение размеров образцов из сталей ШХ15 и ШХ15СГ при термообработке в зависимости от исходной структуры (А. С. Шейн и В. Ф Горшкова). Закалка ШХ15 с 830° ШХ15СГ — с 820°; отпуск 150°: *1* — мелкозернистый перлит; *2* — точечный перлит; *3* — тонкопластинчатый перлит; *а* — ШХ15; *б* — ШХ15СГ.



Фиг. 71. Изменение размеров колец при термической обработке (А. Г. Спектор): *1* — сталь ШХ15, закалка + отпуск при 150°; *2* — сталь ШХ15СГ, закалка + отпуск при 150°; *3* — сталь ШХ15СГ, закалка + отпуск при 250°.

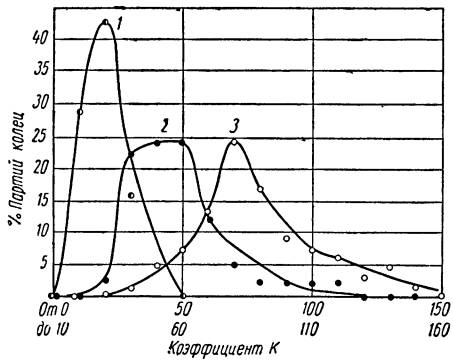


Фиг. 70. Изменение размеров образцов диаметром 8×120 *мм* при термообработке в зависимости от исходной структуры и температуры отпуска [4]. Закалка ШХ15 с 830°, ШХ15СГ с 820°. Продолжительность отпуска 3 часа: *1* — зернистый перлит; *2* — точечный и мелкозернистый перлит; *3* — тонкопластинчатый перлит.



Фиг. 72. Зависимость между изменением размеров колец и максимальной толщиной их сечения (А. Г. Спектор): *1* — кольца из поковок, сталь ШХ15, закалка и отпуск при 150°; *2* — кольца из поковок, сталь ШХ15СГ, закалка и отпуск при 160°; *3* — кольца из поковок, сталь ШХ15СГ, закалка и отпуск при 250°; *4* — кольца из холоднокатаных труб, сталь ШХ15, закалка и отпуск при 150°.

Колебания K для различных партий колец, закаленных тремя различными способами, показаны на фиг. 73.



Фиг. 73. Распределение партии закаленных колец по коэффициенту овальности K (А. Г. Спектор): *1* — вращение в закалочной среде на разжимном патроне; *2* — вращение в закалочной среде на валках; *3* — обычная закалка без вращения кольца в закалочной среде.

Стабилизация структуры и размеров деталей из закаленной стали. Высокие требования к стабильности размеров, структуре и твердости деталей подшипников составляют отличительную особенность их термической обработки. В закаленной стали имеются две нестабильные структурные составляющие: мартенсит и аустенит. Распад мартенсита во времени приводит к уменьшению удельного объема закаленной стали и уменьшению размеров детали, превращение нестабильного аустенита в мартенсит — к увеличению удельного объема и соответствующему увеличению размеров.

В производственных условиях более трудной задачей является снижение количества остаточного аустенита и его стабилизация.

Содержание остаточного аустенита в закаленной шарикоподшипниковой стали. Данные о количестве остаточного аустенита приводятся в табл. 23—27 и на фиг. 74—81.

23. Содержание остаточного аустенита в закаленных сталях ШХ15 и ШХ15СГ в зависимости от исходной структуры [4]*

Состояние перед закалкой			Состояние после закалки			
Исходная структура	Твердость стали		Количество остаточного аустенита в %		Твердость стали *HRC*	
	ШХ15	ШХ15СГ	ШХ15	ШХ15СГ	ШХ15	ШХ15СГ
Тонкопластинчатый перлит (нормализация 900°)	*HRC* 38	*HRC* 47	16—18	20—22	64	64
Точечный перлит (нормализация и ускоренный отжиг)	*HB* 228	*HB* 240	12—14	16—18	63—63,5	63—63,5
Мелкозернистый перлит (отжиг 800°)	—	*HB* 207	—	12—14	—	61—62
Зернистый перлит (отжиг 800°)	*HB* 179	—	7—8	—	60—61	—

*Температура закалки стали ШХ15 830°, ШХ15СГ — 820°, отпуск при 150° — 2,5 часа.

24. Содержание аустенита в закаленной стали ШХ15 в зависимости от различия структур после нормального отжига [17]

Структура после отжига	Режим термической обработки	Количество остаточного аустенита в % после отпуска в течение 2,5 час. при температуре в °С			
		150	200	225	250
Зернистый перлит *HB* 180 ($d_{отп}$ = 4,5 *мм*), балл 5 по ГОСТ 801-58	Закалка с 855—860° в масле при 50°, охлаждение на воздухе до +15°	14	10	4	0
Мелкозернистый перлит *HB* 207 ($d_{отп}$ = 4,2 *мм*), балл 2 по ГОСТ 801-58	То же	18	10	5	1

25. Влияние температуры отпуска (продолжительность 3 часа) на содержание остаточного аустенита в сталях ШХ15 и ШХ15СГ [4], [17]

Марка стали	Исходная структура	Температура закалки °С	Закалочная среда	Количество остаточного аустенита в % после отпуска при температуре в °С					
				150	175	200	225	250	275
ШХ15	Мелкозернистый перлит	850—860	Масло 50°	18	—	10	5	1	0
ШХ15	Мелкопластинчатый перлит . .	830	То же	18—19	16—17	10	3—4	0	0
ШХ15СГ	Мелкозернистый перлит	820	»	14	13	10,5	8	2,5	0
ШХ15СГ	Точечный перлит	820	»	18	17	13—14	10,5	2,5	0
ШХ15СГ	Тонкопластинчатый перлит . .	820	»	22—23	21	16	11,5	3	0

26. Влияние изотермической выдержки в мартенситном интервале при температуре +80° (ступенчатая закалка) на количество остаточного аустенита в стали ШХ15

Продолжительность выдержки	Количество остаточного аустенита в % при +20°
0*	13,5
10 мин.	16,0
2 часа	20,0
6 час.	21,0

*Закалка в масле с температурой 20°.

27. Влияние скорости охлаждения на содержание остаточного аустенита в стали ШХ15, закаленной с 850° (исходная структура—мелкозернистый перлит)

Закалочная среда	% аустенита
Масло	14
Керосин	10
Вода	8

Данные табл. 23 показывают, что для стали ШХ15 разница в содержании остаточного аустенита, обусловленная различиями в исходной структуре отожженной стали, допускаемыми техническими условиями, велика. Эта разница, обусловленная различием исходной структуры и температуры закалки, может быть значительно уменьшена путем повышения температуры отпуска: для стали ШХ15 — до 200°, для стали ШХ15СГ — до 225° (табл. 24 и 25).

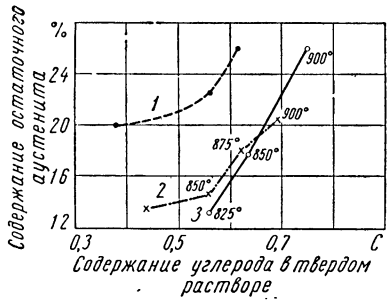
При одинаковых концентрациях углерода в твердом растворе закаленная сталь, имевшая исходную структуру пластинчатого перлита, содержит больше остаточного аустенита, чем сталь, имевшая до закалки исходную структуру зернистого перлита, в связи с различием концентраций хрома в твердом растворе — феррите, аустените (фиг. 74). Влияние температуры закалки и обработки холодом на содержание аустенита в сталях ШХ15 и ШХ15СГ показано на фиг. 75.

Обработка холодом при —30° значительно уменьшает разницу в содержании остаточного аустенита, обусловленную различием температур закалки, а обработка холодом при —70° практически полностью ее ликвидирует (фиг. 76).

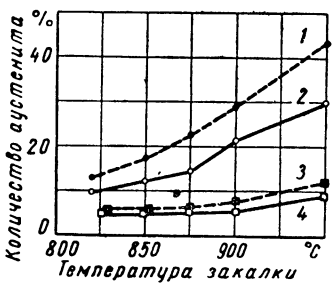
Влияние изотермической выдержки при разных температурах закалочной ванны на содержание аустенита в стали ШХ15 показано на фиг. 77.

Зависимость содержания остаточного аустенита от диаметра образца показана на фиг. 78.

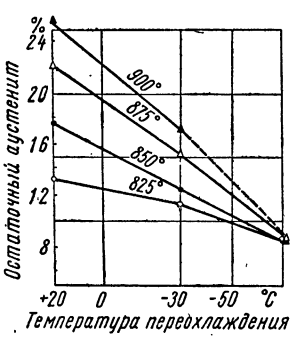
Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на содержание остаточного аустенита показано на фиг. 79.



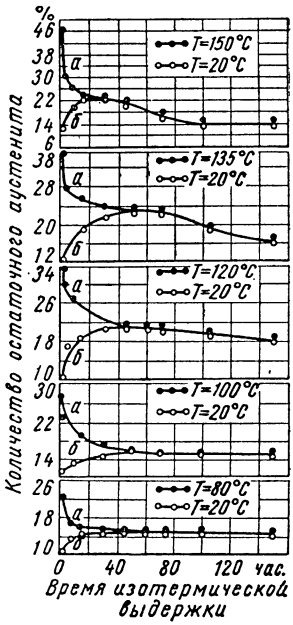
Фиг. 74. Количество остаточного аустенита в стали ШХ15 в зависимости от содержания углерода в твердом растворе при разных исходных структурах (А. С. Шейн и А. А. Царева): *1* — пластинчатый перлит; *2* — зернистый перлит; *3* — мелкозернистый перлит.



Фиг 75. Содержание остаточного аустенита в сталях ШХ15 и ШХ15СГ при разных температурах закалки и после обработки холодом (А. С. Шейн): *1* — сталь ШХ15СГ, закалка в масле 50°, охлаждение до +20°, отпуск 150°; *2* — сталь ШХ15, режим тот же; *3* — сталь ШХ15СГ, закалка в масле 50°, обработка холодом при —70°, отпуск 150°; *4* — сталь ШХ15, режим тот же.



Фиг. 76. Влияние степени переохлаждения при закалке с разных температур на содержание аустенита в стали ШХ15. Исходная структура — мелкозернистый перлит (А. С. Шейн, А. А. Царева).



Фиг. 77. Зависимость количества остаточного аустенита от времени изотермической выдержки при разных температурах закалочной ванны [9]: *а* — при температуре закалочной ванны; *б* — при охлаждении до комнатной температуры.

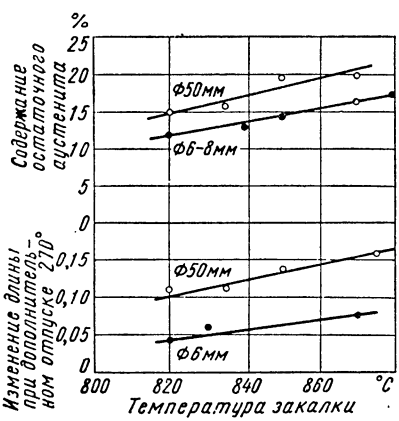
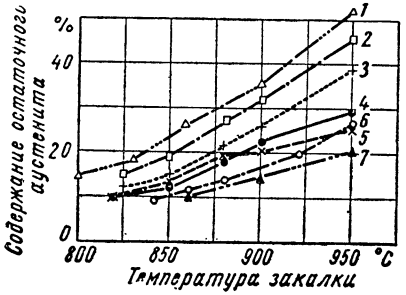


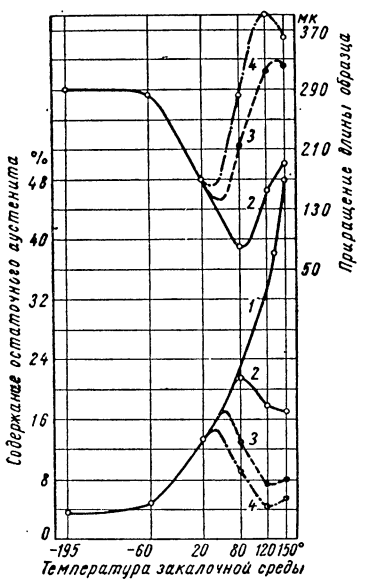
Рис. 78. Зависимость между количеством остаточного аустенита и диаметром образцов (А. Г. Спектор и В. С. Иртлач). Сталь ШХ15СГ; образцы цилиндрические диаметром 6, 8 и 50 *мм*.



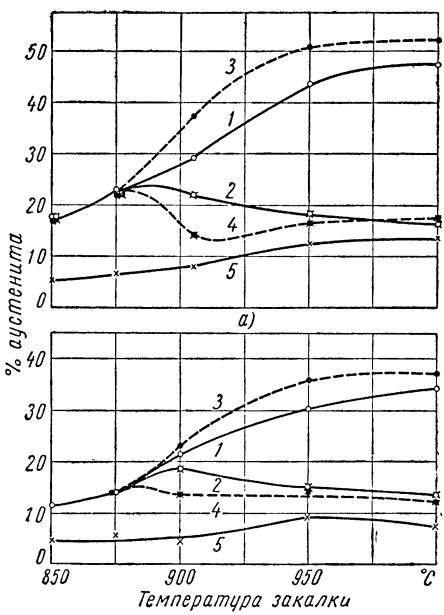
Фиг. 79. Влияние легирующих добавок к стали ШХ15 на содержание остаточного аустенита (А. С. Шейн и А. А Царева): *1*—ШХ15+2,1%Ni; *2*—1,6%Ni; *3*—1%Ni; *4*—ШХ15; *5*—0,04%Ti; *6*—0,20%V; *7* — 0,34%V. Образец диаметром 8 × × 120 *мм*.

Стабильность структуры стали и размеров деталей, предназначенных для работы при отрицательных температурах. Испытание холодом. При закалке с нормальной температуры охлаждение образцов тонких сечений стали ШХ15 до температуры +20° и последующий отпуск при 150° в течение 2 час. делают аустенит и линейные размеры устойчивыми по отношению к отрицательным температурам (фиг. 80). При недостаточном охлаждении в процессе закалки (перед отпуском) сохраняется большее количество остаточного аустенита; избыточный аустенит нестабилен и распадается при охлаждении до —60° (кривая *3*) и в еще большей степени при охлаждении до —196° (кривая *4*).

Шарикоподшипниковые стали ШХ15 и ШХ15СГ после закалки с 850° и отпуска при 150° стабильны по отношению к отрицательным температурам; при закалке с температуры 875° обнаруживается неустойчивость аустенита и линейных раз-



Фиг. 80. Влияние степени переохлаждения при закалке на стабильность аустенита и линейных размеров по отношению к отрицательным температурам [18]: *1* — содержание аустенита при температуре закалочной среды; *2* — содержание аустенита и размеры после отпуска при 150° и охлаждения до комнатной температуры; *3* — после дополнительного охлаждения до —60°; *4* — после дополнительного охлаждения в среде жидкого азота до —196°.

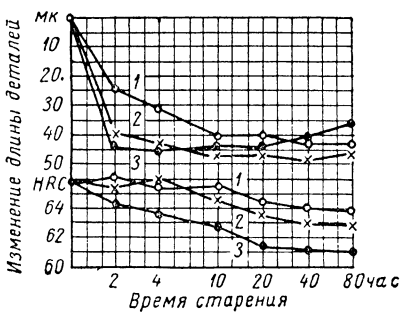


Фиг. 81. Стабильность остаточного аустенита по отношению к отрицательным температурам (испытание холодом) в зависимости от температуры закалки (А. С. Шейн): *а* — сталь ШХ15; *б* — сталь ШХ15СГ; *1* — закалка в масле +20°, отпуск 150° — 3 часа, охлаждение до +20°; *2* — то же и дополнительное охлаждение до —70°; *3* — закалка в масле +50°, отпуск 150°, охлаждение до +20°; *4* — то же + дополнительное охлаждение до —70°; *5* — содержание аустенита после обработки холодом непосредственно после закалки (для сравнения).

меров при охлаждении отпущенной стали до температуры —70°. При более высоких температурах закалки и больших абсолютных количествах аустенита стабилизирующее влияние отпуска становится незначительным (фиг. 81).

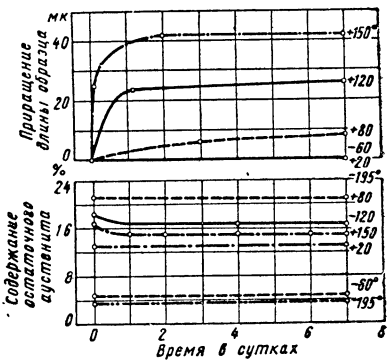
Стабилизация размеров деталей, предназначенных для работы при нормальных (0° ÷ +120°) температурах. Процесс уменьшения длины деталей закаленной стали за счет старения мартенсита происходит тем быстрее, чем выше температура старения. При комнатной температуре этот процесс длится много лет, при температуре 105—110° уменьшение размеров закаленной стали ШХ15 происходит в течение 40—50 час., при температуре 125—130° в течение 10 час.

При температуре 150° уменьшение размеров заканчивается за 2 часа, затем наступает стабилизация за счет компенсации процесса продолжающегося старения мартенсита процессом распада остаточного аустенита и при больших выдержках увеличение размеров, связанное с распадом аустенита. Таким образом, практическая стабилизация размеров, связанная со старением мартенсита, достигается путем отпуска закаленной стали при температуре 150° в течение 2 час. (фиг. 82).

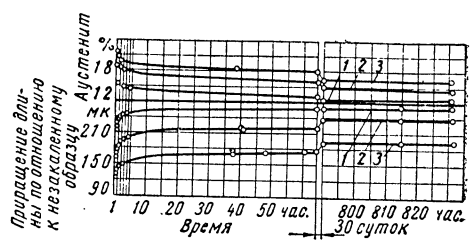


Фиг. 82. Изменение длины твердости в зависимости от времени выдержки при старении [19]. Температура отпуска: *1* — 105—11°; *2* — 125—130°; *3* — 145—150°.

Процессы стабилизации остаточного аустенита при комнатной температуре подчиняются тем же закономерностям, что и процессы стабилизации при отрицательных температурах. Недостаточная степень охлаждения стали в процессе закалки (перед отпуском), замедление охлаждения или увеличение изотермической выдержки в мартенситном интервале, обусловливающие сохранение повышенного количества остаточного аустенита и вызывающие нестабильность аустенита и размеров при отрицательных температурах, вызывают аналогичный эффект при комнатной температуре (фиг. 83. 84) с той разницей, что при нормальных температурах этот процесс



Фиг. 83. Изменение количества аустенита и линейных размеров во времени при комнатной температуре в зависимости от температуры закалочной среды (Я. П. Селисский и А. С. Шейн).



Фиг. 84. Влияние изотермической выдержки при 80° на последующее изменение количества остаточного аустенита и размеров при комнатной температуре [18]. Закалка в масле 80°, выдержка, охлаждение до +20°. Длительность выдержки: *1* — 10 мин.; *2* — 2 часа; *3* — 6 часов.

происходит медленнее, чем при охлаждении в области отрицательных температур. Охлаждение стали при закалке до + 20° и последующий отпуск при 150—160° стабилизируют структуру и линейные размеры стали как при охлаждении до отрицательных температур, так и при выдержке при нормальных температурах (фиг. 83, 85, табл. 28 и 29).

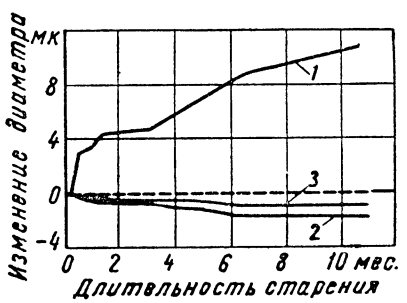
28. Изменение размеров образцов закаленной стали ШХ15 за 4 месяца выдерживания при комнатной температуре [17] (длина образца 120 *мм*)

Режим термической обработки	Исходная структура	Приращение длины в *мк*
Закалка с 855—860° в масле (52°); охлаждение в проточной воде (+20°); отпуск при 150°—2 часа	а) Мелкозернистый перлит. Твердость *HB* 207 б) Зернистый перлит. Твердость *HB* 180	+ 1,4 + 0,6
Закалка с 855—860° в масле (52°); охлаждение до комнатной температуры; дополнительное охлаждение в проточной воде (+15°); отпуск при 150° 2 часа	а) Мелкозернистый перлит. Твердость *HB* 207 б) Зернистый перлит. Твердость *HB* 180	+ 0,4 — 0,2
Закалка с 855—860° в масле (52°); охлаждение до комнатной температуры; дополнительное охлаждение до —70° в течение 30 мин.; отпуск при 150° 2 часа	а) Мелкозернистый перлит. Твердость *HB* 207 б) Зернистый перлит. Твердость *HB* 180	+ 1,0 + 1,8

29. Изменение размеров деталей из стали ШХ15 и ШХ15СГ после выдерживания при комнатной температуре [47] (длина образца 120 *мм*)

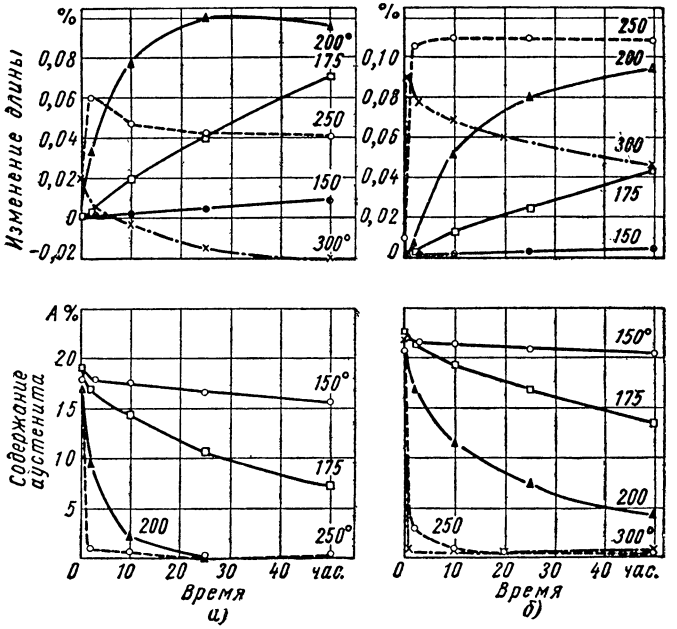
Температура отпуска в °С	Марка стали	Приращение длины в *мк* после выдерживания при комнатной температуре в течение	
		2 мес.	11 мес
150	ШХ15 ШХ15СГ	0 0	—1 —1
175	ШХ15 ШХ15СГ	0 +1	—0,5 —0,5
200	ШХ15 ШХ15СГ	0 0	—0,5 —0,5
225	ШХ15 ШХ15СГ	—0,5 +1,5	—0,5 +1,5

Повышение температуры отпуска, резко увеличивающее стабильность стали при отрицательных температурах, действует таким же образом и на стабильность при комнатной температуре. Повышение температуры отпуска до 200° обеспечивает стабилизацию размеров деталей подшипников из стали ШХ15 не только при их продолжительном хранении, но и в процессе работы при температурах от —60 до +120° в условиях высоких напряжений (до 350 *кГ/мм*²) и больших скоростей (7 млн. циклов перемен напряжений в час).

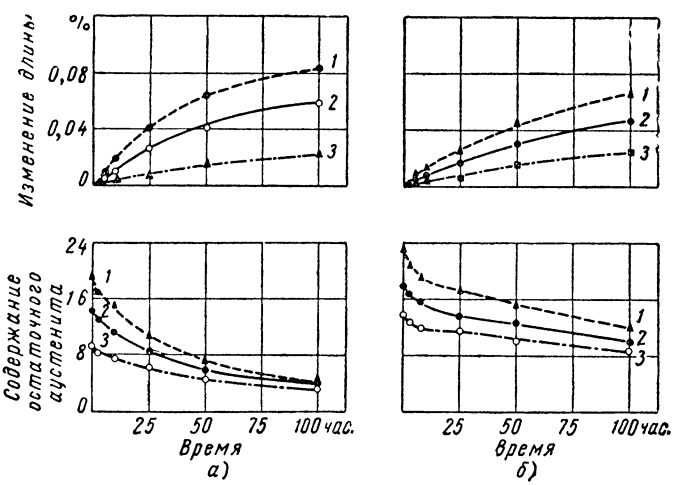


Фиг. 85. Среднее изменение размеров колец диаметром 150 *мм* при трех вариантах термической обработки [16]: *1* — закалка в масле 50—60°, отпуск 150°; *2* — закалка в масле 50—60°, охлаждение до +10° в проточной воде, отпуск; *3* — закалка в масле 50—60°, охлаждение до —78°, отпуск.

Стабилизация структуры и размеров деталей, предназначенных для работы при повышенных температурах. При рабочих температурах, превышающих 120°, в закаленной стали происходит непрерывный распад остаточного аустенита с течением времени и соответствующее увеличение размеров. При температурах выше 180° для стали ШХ15 и при температурах выше 250° для стали ШХ15СГ первоначальный период увеличения размеров за счет распада аустенита сменяется длительным периодом постепенного уменьшения размеров за счет продолжающегося распада мартенсита (фиг. 86).



Фиг. 86. Изменение количества остаточного аустенита и линейных размеров закаленной стали при повышенных рабочих температурах [4]: *а* — сталь ШХ15; *б* — сталь ШХ15СГ.



Фиг. 87. Изменение количества остаточного аустенита и линейных размеров закаленной стали при рабочей температуре 175° [4]; *а* — сталь ШХ15, закалка с 830° в масле, отпуск 150° 2,5 часа; *б* — сталь ШХ15СГ, закалка с 820° в масле, отпуск 150° 2,5 часа. Исходная структура: *1* — тонкопластинчатый перлит; *2* — точечный перлит; *3* — зернистый перлит (ШХ15); мелкозернистый перлит (ШХ15СГ).

Измельчение исходной структуры и увеличение содержания аустенита после закалки приводят к увеличению скорости и абсолютной величины изменений размеров закаленной стали при повышенных температурах (фиг. 87).

Влияние температуры отпуска на стабилизацию размеров закаленной стали при повышенных рабочих температурах приведено в табл. 30 и 31 [4].

30. Изменение длины после 100-часового выдерживания при рабочей температуре 150° (длина образца 120 *мм*)

Марка стали	Температура отпуска в °С		
	200	225	250
	Приращение длины в *мк*		
ШХ15	+11	+8	+1
ШХ15СГ	+4	+2	0

Данные, помещенные в табл. 30 и 31, показывают, что для обеспечения стабильных размеров деталей из стали ШХ15 при рабочих температурах до 150° отпуск должен производиться при температуре 250°, из стали ШХ15СГ — при 225—250°. Для обеспечения стабильности размеров при рабочей температуре 200° детали из стали ШХ15 должны подвергаться отпуску при 250°, а детали из стали ШХ15СГ — отпуску при 275°.

31. Изменение длины после 50-часового выдерживания при рабочей температуре 200° (длина образца 120 *мм*)

Марка стали	Температура отпуска в °С		
	225	250	275
	Приращение длины в *мк*		
ШХ15	+17	−2	−1
ШХ15СГ	+48	+11	0

НЕРЖАВЕЮЩАЯ ПОДШИПНИКОВАЯ СТАЛЬ

Наибольшее промышленное применение для изготовления колец и тел качения получила высокоуглеродистая нержавеющая сталь марки Х18.

Микроструктура стали Х18

Микроструктура поковок состоит из аустенита + мартенсит + первичные и вторичные карбиды.

Микроструктура отожженной стали: феррит + первичные и вторичные карбиды, твердость *НВ* 230—250.

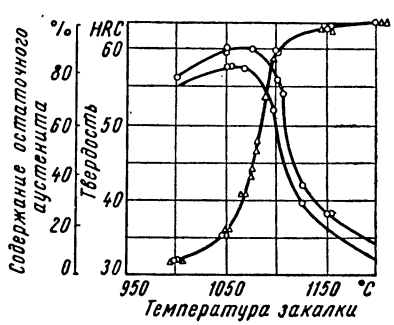
Микроструктура закаленной стали состоит из скрытокристаллического мартенсита и карбидов, при разных температурах закалки в интервале от 1000 до 1100° имеет разные количества карбидной фазы. При закалке с 1150° микроструктура состоит из аустенита, мартенсита и карбидов, при закалке с 1200° — из полиэдров аустенита и незначительного количества карбидной фазы.

Механические свойства стали Х18

Отожженная сталь Х18 имеет твердость *НВ* 232—241, предел прочности 76 *кГ/мм*^{2}, относительное удлинение 13,4% и сжатие поперечного сечения 30%.

Механические свойства закаленной стали

Изменение твердости и содержания остаточного аустенита в стали в зависимости от температуры закалки приведено на фиг. 88.



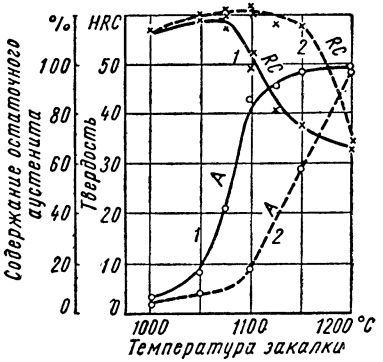
Фиг. 88. Зависимость твердости и содержания остаточного аустенита в стали Х18 от температуры закалки [20].

Влияние температуры закалки и обработки холодом на твердость стали Х18 показано на фиг. 89.

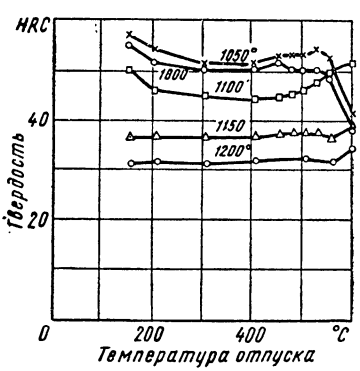
32. Влияние режима термической обработки на ударную вязкость закаленной стали Х18

Температура закалки в °С (отпуск 150°)	Ударная вязкость[1] на квадратных образцах с надрезом в $кГ \cdot м/см^2$	Ударная вязкость[2] на цилиндрических образцах без надреза	
		без обработки холодом	с обработкой холодом
1000	1,2	—	—
1050	1,0	—	5,2
1075	1,3	6,4	6,4
1100	1,6	—	4,4
1125	1,8	—	3,9
1150	2,1	—	—

[1] Исследование П. А. Дворянова.
[2] Исследование А. С. Шейна и А. А. Царевой.



Фиг. 89. Зависимость содержания остаточного аустенита (*A*) и твердости стали Х18 от температуры закалки [20]: *1* — без обработки холодом; *2* — с обработкой холодом в процессе закалки.

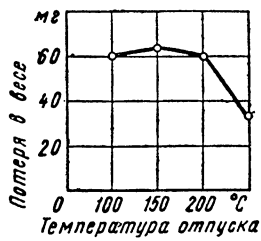


Фиг. 90. Влияние температуры отпуска на твердость стали Х18. закаленной при различных температурах [20].

Зависимость твердости стали Х18 от температуры отпуска дана на фиг. 90.

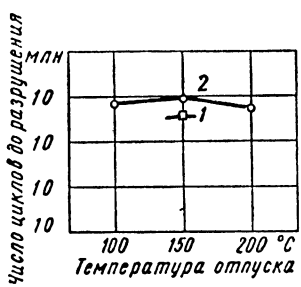
Зависимость ударной вязкости стали Х18 от температуры закалки приведена в табл. 32.

Износостойкость стали Х18 при трении качения (с проскальзыванием 10%) при разных температурах отпуска приведена на фиг. 91.



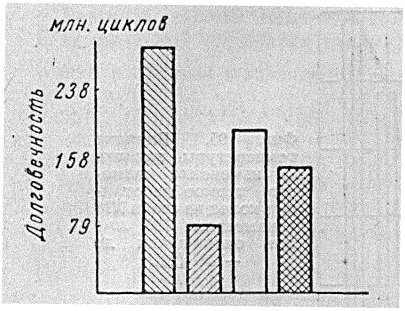
Фиг. 91. Износ стали Х18 при качении с проскальзыванием 10% в зависимости от температуры отпуска (П. А. Дворянов).

Сравнительная выносливость закаленной стали Х18 в зависимости от температуры отпуска при испытании со знакопеременным изгибом приведена на фиг. 92.



Фиг. 92. Выносливость стали Х18 при знакопеременном изгибе в сравнении со сталью ШХ15 (П. А. Дворянов): *1* — сталь ШХ15; *2* — сталь Х18.

Данные о контактной выносливости стали Х18 приведены на фиг. 93. Контактная выносливость стали Х18 ниже, чем стали ШХ15. Обработка холодом

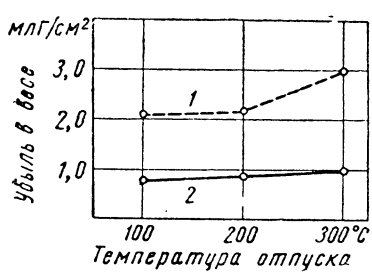


Фиг. 93. Влияние обработки холодом на контактную выносливость стали Х18 (А. С. Шейн и В. Ф. Горшкова): *1* — сталь ШХ15; *2* — сталь Х18 при нормальном режиме термообработки. *3* — сталь Х18 после закалки 1070°, обработки холодом —70° и отпуска при 150°; *4* — сталь Х18 после закалки с 1100°, обработки холодом —70° и отпуска 150°.

(—70°) перед отпуском значительно повышает контактную выносливость стали Х18.

Коррозионная стойкость стали Х18. Сталь Х18 обладает удовлетворительными антикоррозионными свойствами только после термической обработки (закалки и низкотемпературного отпуска).

Устойчивость против коррозии в морской воде в зависимости от температуры отпуска и условий погружения характеризуется фиг. 94.



Фиг. 94. Устойчивость стали Х18 против коррозии в морской воде в зависимости от температуры отпуска и условий погружения (П. А. Дворянов). Условия испытания: *1* — образцы погружены; *2* — образцы полупогружены.

Сравнительная характеристика стойкости стали Х18 и кислотоупорных сталей против коррозии в разных агрессивных средах приведена в табл. 33 [2].

33. Сравнительная стойкость стали Х18 и кислотоупорных сталей

Среда	Марка стали и химический состав		
	Х18	Х17	1Х18Н9
	17%Cr; 1,0%	17%Cr; 0,10%C	18%Cr; 8%Ni; 0,15%C
Воздух морской	Х	Х	О
Вода морская	У	У	У
Влажный пар	О	Х	О
Растворы кислот (при нормальной температуре с концентрацией 5—15%):			
соляная	П	П	П
серная	П	П	П
азотная	Х	О	О
уксусная	Х	О	О
ортофосфорная	У	У	Х
Растворы щелочей с концентрацией 1—20%	О	О	О
Органические вещества: сырая нефть при 20—200°	О	О	О

Обозначения: О—отличная; Х—хорошая; У—удовлетворительная; П—плохая.

Физические свойства стали Х18

а) удельный вес 7,65—7,7;

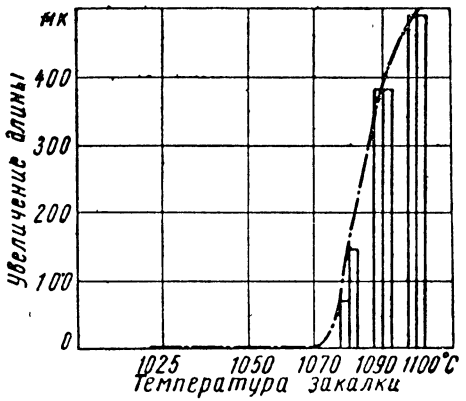
б) модуль упругости 20 200—21 500 *кГ/мм²*;

в) критические точки: при нагревании со скоростью 5°/мин. $Ac_1 = 815 \div 865°$; при охлаждении со скоростью 5°/мин. $Ar_1 = 765 \div 665°$.

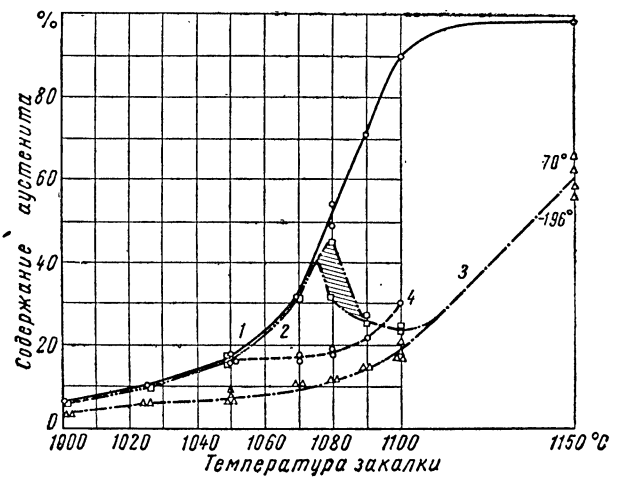
Стабилизация размеров

Превращение остаточного аустенита в мартенсит при длительном хранении и особенно во время работы подшипника при отрицательных рабочих температурах сопровождается значительным увеличением размеров деталей в том случае, когда фактическая температура закалки выше 1070° (фиг. 95, 96). В связи с этим для стабилизации размеров применяется дополнительная обработка холодом.

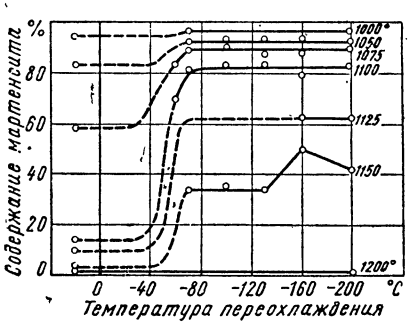
Мартенситное превращение стали Х18 при закалке в практически применяемом интервале закалочных температур заканчивается при —70° (фиг. 96, 97).



Фиг. 95. Влияние температуры закалки на изменение размеров термообработанных колец из стали Х18 (диаметром 120 *мм*) при охлаждении до —70° [20].



Фиг. 96. Зависимость содержания аустенита в стали Х18 от режима термической обработки: *1* — закалка, отпуск при 150°; *2* — закалка, отпуск при 150°, охлаждение до —196°; *3* — закалка, охлаждение до —70° или до —196°, отпуск; *4* — закалка, охлаждение до —60°, отпуск [20].



Фиг. 97. Зависимость количества мартенсита от температуры переохлаждения стали Х18 для разных температур закалки (мартенситные кривые) [20].

Режимы горячей механической и термической обработки стали Х18

Ковка и горячая штамповка. Температурный интервал ковки-штамповки следующий: начало ковки 1050—1080°, конец ковки —900°. Режим нагрева под ковку: медленный нагрев до температуры 800—850°, выдержка 30 мин., окончательный нагрев до 1050—1080°. Охлаждение поковок замедленное (в золе, в печи, в термостате).

Отжиг. Режим отжига применяют: медленный нагрев до температуры 850—870°, выдержка, охлаждение со скоростью от 25 до 100° в час.

Закалка, отпуск и обработка холодом. Предварительный нагрев до 850°, окончательный нагрев 1040—1060°, охлаждение в масле, дополнительное охлаждение до цеховой температуры и отпуск при 150—160°.

Режим термической обработки стали Х18, позволяющий получить высокую степень стабильности размеров деталей при отрицательных рабочих температурах и наилучший комплекс практически важных антикоррозионных и механических свойств, рекомендуется следующий: подогрев до 850°, окончательный нагрев до температуры 1050—1070°, закалка в масле, обработка холодом при температуре —70° и отпуск при температуре 150—160°. При обработке холодом непосредственно после закалки температура закалки стали Х18 может быть повышена до 1100°.

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ИЗ ШАРИКОПОДШИПНИКОВЫХ ХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ

Термическая обработка колец

Отжиг. Температура нагрева при отжиге 780—810°. Скорость охлаждения 10—30°/час. Режимы отжига поковок даны в табл. 34.

Микроструктуру и твердость стали после отжига см. в табл. 6.

Дефекты отжига и их исправление:

а) повышенная твердость, наличие в структуре «пластинчатого перлита недогрева» исправляются повторным отжигом при нормальной температуре;

б) пониженная твердость, наличие «пластинчатого перлита перегрева» исправляются нормализацией и повторным нормальным отжигом.

Закалка. Режимы закалки колец приводятся в табл. 35—38.

После закалки кольца охлаждаются в моечной машине проточной водой до температуры +20°. Отпуск производится в конвейерной печи с принудительной циркуляцией воздуха или в масляной ванне.

Кольца диаметром до 170 *мм* подвергаются отпуску при 150—160° с выдержкой в течение 1,5—3 час.

Кольца диаметром более 170 *мм* подвергаются отпуску при 150—170° с выдержкой в течение 2—3 час. кольца диаметром от 250 до 450 *мм* и толщиной стенки от 14 до 30 *мм* подвергаются отпуску при 160—180° с выдержкой от 3 до 5 час.

Для уменьшения овальности колец среднего и большого диаметра применяют приспособление для вращения колец в масле в процессе охлаждения.

Ступенчатую закалку в штампах применяют для тонкостенных колец среднего и большого диаметра.

Оптимальный режим: нагрев до 835—850°, охлаждение в масле с температурой 100—140°, выдержка 20—80 сек., затем правка под прессом в раздвижных секторных штампах, а также на жестких цилиндрических или конических оправках.

Диаметр жесткой цилиндрической оправки должен быть на 0,1—0,3 *мм* меньше диаметра кольца в незакаленном состоянии.

34. Режим отжига поковок в толкательной печи непрерывного действия в часах

Вид загрузки	Время нагрева в зоне с температурой 800°		Время пребывания в зоне с температурой 700—720°		Время охлаждения до 400—500°
	Нагрев	Выдержка	Время охлаждения	Выдержка	
В прямоугольных корзинах, на литых поддонах	7	3	4—5	2—3	4

35. Режимы закалки колец из стали ШХ15 в трехзонной конвейерной печи

Размеры колец в *мм*		Температура нагрева в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Охлаждающая среда
Диаметр	Толщина сечения			
15—75	2—5	830—845	20—35	Масло веретенное № 3 при температуре 30—60°
60—130	4—8	840—850	30—40	То же
80—170	8—12	840—855	40—50	Охлаждение колец диаметром более 150 *мм* в закалочном приспособлении
90—200	12—15	845—855	50—70	То же
100—240	15—18	850—860	70—80	»

36. Режимы закалки колец из сталей ШХ15 и ШХ15СГ в четырехзонной конвейерной печи

Марка стали	Размеры в *мм*		Температура закалки в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Закалочная среда и условия охлаждения
	Диаметр кольца	Толщина сечения			
ШХ15	125—300	6—7 8—9 10—12 13—16 17—18	830—845 830—845 840—855 840—855 850—860	25—35 35—50 55—65 60—70 70—80	Масло веретенное № 3 при температуре 30—60°. Охлаждение колец с диаметром более 150 *мм* в закалочном приспособлении
ШХ15СГ	300—410	11—13 14—19 20—26 27—35	810—840 820—840 820—840 820—840	40—50 60—70 70—80 60—90	Масло веретенное № 3 при температуре 30—60° Охлаждение в закалочном приспособлении

37. Режимы закалки колец из стали ШХ15СГ в рольганговой печи

Размеры колец в *мм*		Температура нагрева в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Среда и условия охлаждения
Диаметр	Толщина сечения			
250—470	14—20 20—30	830±10°	60—70 70—80	Масло веретенное № 3 при температуре 30—60°. Охлаждение в закалочном приспособлении

Изотермическую закалку применяют для отдельных типов колец подшипников с целью получения наибольшей пластичности при достаточно высокой твердости *HRC* 60. Режимы изотермической обработки приведены в табл. 39.

Термическую обработку с повышенными температурами отпуска производят для стабилизации размеров колец подшипников, предназначенных для работы при повышенных рабочих температурах и высоких удельных нагрузках. Режимы при повышенных температурах даны в табл. 40.

38. Режимы закалки колец крупногабаритных подшипников из стали ШХ15СГ в шахтных электропечах

Диаметр кольца в *мм*	Толщина сечения в *мм*	Температура нагрева в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Среда и условия охлаждения
300—700	15—25	825—845	90	Масло; охлаждение в закалочном приспособлении до 70°, далее в «спокойном» масле и на воздухе
300—1100	25—35	825—845	120—150	
300—1100	35—50	825—845	150—180	
300—1100	50—80	825—845	180	

39. Режим термической обработки колец из стали ШХ15 с применением изотермической закалки

Предварительная термообработка заготовок		Изотермическая закалка		
Нормализация	Ускоренный отжиг	Температура нагрева в °С	Температура изотермической выдержки в °С	Выдержка в час
Температура нагрева в °С				
900	780	840—850	130	100 15*
			120	100 15

* Сокращение изотермической выдержки до 15 час. предложено и обосновано Я. Р. Раузиным [2].

40. Режимы термической обработки колец из стали ШХ15 для подшипников, работающих при повышенных температурах

Нормализация заготовок	Отжиг заготовок	Закалка	Закалочная среда	Отпуск	Выдержка в час	Интервал рабочих температур в °С	Твердость *HRC*
Температура в °С							
900	780	840—855	Масло 30—60	200	3	—60÷+120	60—63
				250	3	—60÷+200	58—61
				300	3	—60÷+250	55—58
				350	3	—60÷+300	52—55
				400	2	—60÷+350	48—52

Термическая обработка роликов

Ролики изготовляются из прутков, отожженных на металлургическом заводе.

После токарной обработки или штамповки ролики подвергаются закалке в печах: конвейерных, с пульсирующим подом, с вращающимся муфелем, карусельного типа.

Режимы закалки роликов приведены в табл. 41.

Охлаждающей средой при закалке роликов служит масло веретенное 3 с температурой 30—60°. После закалки в масле ролики охлаждаются до температуры цеха.

Отпуск роликов производится в конвейерных печах с принудительной циркуляцией воздуха или в масляных ваннах.

Температура отпуска 150—160°. Продолжительность отпуска в конвейерных печах с воздушной атмосферой от 2,5 до 5 час. (в зависимости от размера).

Выдержка в масляной ванне от 2 до 3 час.

41. Режимы закалки роликов в печах различных типов

Марка стали	Диаметр роликов в *мм*	Печи с вращающимся муфелем		Конвейерные печи 1ГП8		Печи с пульсирующим подом		Печи карусельного типа	
		Температура в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Температура в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Температура в °С	Продолжительность нагрева в мин.	Температура в °С	Продолжительность нагрева в мин.
ШХ6	4—10	830—850	20—30	—	—	—	—	—	—
ШХ9	10—15	840—855	25—40	840—855	30—40	830—850	40—45*	—	—
ШХ15	15—20	850—860	30—40	845—860	35—45	840—860	50—60*	—	—
ШХ15	20—25		35—45	850—860	40—50		60—70*	—	—
ШХ15	25—30	855—865	40—50	855—865	50—60	850—865	100—120**	—	—
ШХ15СГ	25—30	810—830	35—40	—	—	800—820	50—70**	820—840	50—60
	30—35		40—45	—	—				50—70
	35—40	820—840	45—50	—	—	810—830	70—80**		60—80
	40—45		50—55	—	—	820—840	80—90**		70—80
	45—50		50—60	—	—				80—90
	50—60	—	—	—	—	—	—		
	60—65	—	—	—	—	—	—		
	65—75	—	—	—	—	—	—		

* Печь ЦЭП-127. **Печь ОКБ-134.

Термическая обработка шариков

Для изготовления шариков применяют три марки стали: ШХ6, ШХ9 и ШХ15. Отжиг шариков, штампуемых в горячем состоянии из горячекатаной неотожженной стали, производится при температуре 760—770°, отжиг шариков, штампуемых из отожженной стали,— при температуре 740—750°.

Закалка шариков. Шарики диаметром от $^1/_8$″ до $1^3/_4$″ обычно нагревают под закалку в барабанных печах с вращающимся муфелем, снабженных загрузочным приспособлением с распределительным устройством. Закалочный бак имеет наклонные лотки, по которым шарики катятся со скоростью, достаточной для их быстрого и равномерного охлаждения.

Крупные шарики диаметром более 50 *мм* нагреваются в соляных ваннах.

Мелкие шарики диаметром до $^1/_2$″ закаливаются в масле, шарики всех остальных размеров закаливаются в водных растворах. Для предотвращения мягких поверхностных трооститных пятен, наличие которых обусловлено образованием на поверхности охлаждаемых шариков паровой рубашки, в закалочный бак заливается вода, содержащая 3,5—5% соды. При закалке крупных шариков из соляных ванн закалочной жидкостью служит 10%-ный водный раствор NaCl. Режимы закалки шариков приведены в табл. 42, 43.

Отпуск шариков диаметром до 2″ производится в конвейерных печах с принудительной циркуляцией воздуха или в масляных ваннах.

42. Режимы закалки шариков в барабанных печах с вращающимся муфелем

Диаметр шариков в дюймах	Температура нагрева в °С		Продолжительность нагрева в минутах	Охлаждающая среда	Производительность в *кГ/час*
	в зоне нагревателей	в муфеле			
До $^1/_8$	810—820	805—815	15—20	Веретенное масло 3 при температуре 60—80°	20—30
$^1/_8$—$^5/_{32}$	810—820	805—815	20—25	Та же, при температуре 30—60°	40—50
$^3/_{16}$—$^3/_8$	810—830	810—820	22—25	Та же, при температуре 25—40°	50—60
$^{13}/_{32}$—$^1/_2$	815—835	815—825	25—30		50—60
$^{17}/_{32}$—$^3/_4$	815—840	820—830	30—35	Водный раствор соды 3,5—5%-ной концентрации при температуре 25—40°	50—60
$^{25}/_{32}$—$^7/_8$	820—840	820—830	30—40		50—60
$^{15}/_{16}$—$1^1/_{16}$	825—845	825—835	35—45		50—60
$1^1/_8$—$1^5/_{16}$	830—850	830—845	35—50		50—60
$1^3/_8$—$1^1/_2$	830—855	830—850	40—50		50—60
$1^5/_8$—$1^{13}/_{16}$	840—860	840—855	45—55		50—60

43. Режимы закалки крупных шаров в соляных ваннах

Диаметр шаров в *мм*	Температура предварительного нагрева в °С	Температура нагрева в °С	Выдержка при нагреве	Охлаждающая среда
75	780	840—850	10	10%-ный раствор NaCl в воде
100	780	850—860	10	То же
150	800	860—870	15—20	»
200	800	880—890	25—30	»

Температура отпуска 150—160°, продолжительность отпуска в печах с воздушной атмосферой от 2,5 до 4 час., выдержка при отпуске в масляных ваннах от 2 до 3 час.

Крупные шары диаметром более 2″ подвергаются отпуску в масляных ваннах с выдержкой 4—5 час. при температуре 150—160°.

Дефекты термической обработки деталей подшипников и способы их устранения даны в табл. 44.

Характеристика оборудования, применяемого в термических цехах, за исключением специальных закалочных приспособлений, закалочных прессов и штампов, приведена в табл. 45.

44. Дефекты термической обработки и способы их устранения

Вид дефектов	Способы устранения или уменьшения дефектов
Пониженная твердость при нормальной структуре	Для деталей тонкого сечения: повышение температуры закалки, понижение температуры отпуска; для деталей среднего и крупного сечения — понижение температуры отпуска
Пониженная твердость при наличии троостита в структуре	Повышение температуры закалки и времени выдержки при нагреве под закалку, повышение скорости охлаждения
Несоответствие структуры при нормальной твердости: а) игольчатый мартенсит; б) участки троостита	а) Понижение температуры закалки. б) Удлинение выдержки при нагреве под закалку, повышение температуры закалки, увеличение скорости охлаждения детали (нагрев в защитной атмосфере, в раскисленной соляной ванне; охлаждение в специальном закалочном приспособлении, осуществляющем быстрое вращение в закалочном баке; увеличение интенсивности циркуляции закалочной жидкости), закалка деталей партиями одной плавки

Продолжение табл. 44

Вид дефектов	Способы устранения или уменьшения дефектов
в) одновременное наличие игольчатого мартенсита и троостита	Повышение скорости охлаждения и понижение температуры закалки
Трещины	Увеличение однородности отжига. Понижение температуры закалки до 850—840° при удлинении выдержки, повышение температуры закалочного масла до 50—60°, нагрев в защитной (науглероживающей) атмосфере. Для деталей, закаливаемых в водных растворах, понижение температуры закалочной среды до 45—30° (если ее температура $\geqslant 50°$)
Окисление и обезуглероживание	Нагрев в соляных ваннах, герметизация печи, нагрев в защитной (науглероживающей) газовой атмосфере, в чугунной стружке
Мягкие пятна, образующиеся при закалке деталей а) в масле	Увеличение длительности выдержки и температуры закалки, увеличение скорости охлаждения; при закалке из соляных ванн — правильно размещать детали в ванне и перед охлаждением в масле или керосине дать соли стечь с вогнутых поверхностей детали. Для роликов, закаливаемых в масле или керосине, удлинение пути и увеличение скорости движения роликов в закалочной жидкости; применение вибрации лотков
б) в водных растворах	Поддержание 2,5—3%-ной концентрации соды, понижение температуры закалочной жидкости до 45—35°, вибрация лотков, удлинение пути и скорости движения деталей в закалочной жидкости, увеличение длительности выдержки и температуры при нагреве под закалку
Коробление	Устранение возможностей механических повреждений (ударов) при нагреве и охлаждении, увеличение равномерности нагрева и понижение температуры закалки, увеличение равномерности охлаждения (создание правильной циркуляции закалочной жидкости; для колец — закалка с вращением в закалочной жидкости), ступенчатая закалка с последующей правкой под прессом, закалка в штампах, создание наиболее однородной структуры при отжиге, уменьшение эксцентричности при вырезке колец из заготовки
Нестабильность размеров	Уменьшение рассеивания твердости и структуры при отжиге. Обязательное охлаждение деталей в процессе закалки (перед отпуском) до температуры +20°, понижение температуры закалки (до 850—840° для стали ШХ15 и до 830—820° для стали ШХ15СГ), повышение температуры отпуска (200°), увеличение длительности отпуска

45. Термическое оборудование

Наименование оборудования	Мощность в *квт*	Производительность в *кг/час*	Назначение
Сдвоенная толкательная электропечь ДТА-600	600	1200	Отжиг колец, шариков, роликов
Толкательная электропечь ТО-300	300	500	То же
Электропечь с пульсирующим подом ОКБ-134, трехзонная	150	250	Отжиг шаров. Закалка колец диаметром до 170 *мм*, роликов диаметром до 50 *мм*
Электропечь с пульсирующим подом ЦЭП-127, трехзонная	75	100	Закалка колец, роликов, шаров
Конвейерная электропечь трехзонная 1ГПЗ	120—130	250—300	Закалка колец и роликов
Конвейерная печь конструкции 4ГПЗ четырехзонная	200—220	350	То же
Конвейерные электропечи: К-75, К-120, К-130, К-160, К-175	75—175	—	То же

Продолжение табл. 45

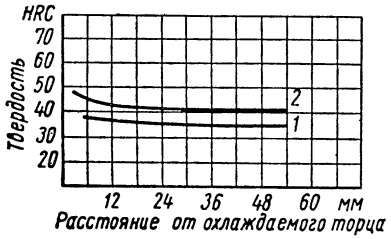
Наименование оборудования	Мощность в *квт*	Производительность в *кГ/час*	Назначение
Рольганговая электропечь ОКБ-609	150	—	Закалка колец диаметром 200—400 *мм*
Шахтная электропечь ЦЭП-251А . .	100	—	Закалка колец диаметром 300—400 *мм*
Трехэлектродная соляная ванна . .	85	—	Закалка колец диаметром 300—600 *мм*
Автоматический агрегат из соляных ванн 4ГПЗ	—	—	Термическая обработка колец ⌀25—150 *мм*
Электропечь с вращающимся муфелем типа Б-70, трехзонная	75	100	Закалка шариков и роликов, диаметром до 50 *мм*
Электропечь с вращающимся муфелем «Фиат»	65	60	То же
Карусельная электропечь 1ГПЗ, трехзонная	120	150	Закалка шариков и роликов диаметром свыше 50 *мм*
Камерные электропечи	50—75	—	То же
Конвейерные электропечи для отпуска ОКБ-31, ОКБ-162, ОКБ-152, КО-55; КО-65	50—75	200—300	Отпуск колец, роликов и шариков
Шахтная электропечь с циркуляцией воздуха ЦЭП-252	50	200	Отпуск колец диаметром более 400 *мм*
Масляные ванны	—		Отпуск колец ответственного назначения при T 120—250°. Отпуск шариков и роликов
Моечные машины ММ-400			Промывка деталей и их охлаждение перед отпуском
Индукционная закалочная установка конструкции НИИТВЧ	Внутренний диаметр соленоида 185 *мм* Внутренний диаметр индуктора по керамике 142 *мм* Длина соленоида индуктора 612 *мм*. Длина индуктора 712 *мм*. Общее число витков индуктора — 48.		

ЦЕМЕНТУЕМЫЕ ПОДШИПНИКОВЫЕ СТАЛИ

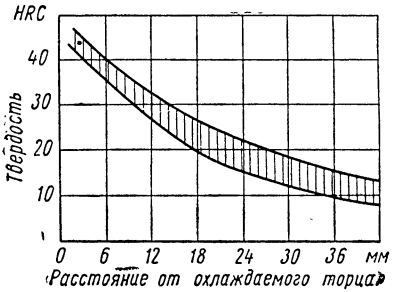
Химический состав и механические свойства

Химический состав и свойства цементуемых сталей, применяемых для деталей подшипников качения, приводится в табл. 46 и 47. Сталь 20Х2Н4А применяют для изготовления деталей крупногабаритных подшипников, требующих большой прокаливаемости. Стали 20НМ и 18ХГТ применяют для изготовления малых колец подшипников диаметром до 180 *мм*. Сталь ЭИ-927 (20ХЗГФ) — опытная и предназначается для замены стали 20Х2Н4А. Прокаливаемость цементуемых сталей, определенная методом торцовой закалки, показана на фиг. 98—100. Максимальный диаметр деталей, получающих сквозную закалку, достигает для сталей 20Х2Н4А и 20ХЗГФ 150 *мм* и для сталей 20НМ и 18ХГТ — 20 *мм*. Механические свойства после закалки и низкого отпуска характеризуются табл. 47.

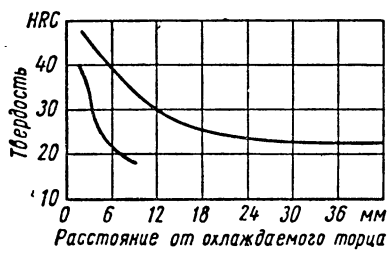
На фиг. 101—103 приведены данные о прокаливаемости по методу торцовой закалки для цементованных слоев сталей с различным содержанием углерода. Данные об изотермической устойчивости переохлажденного аустенита цементуемых сталей с различным содержанием углерода приведены в табл. 48. Данные о составе карбидной фазы приводятся на фиг. 104—105. Высокое содержание углерода в цементованном слое (свыше 1,0—1,2%) и, соответственно, избыточных карбидов приводит к понижению прокаливаемости цементованного слоя из-за уменьшения стойкости аустенита при температурах перлитного превращения. Для повышения прокаливаемости цементованного слоя необходимо ограничивать максимальное содержание в нем углерода регулированием активности цементующего газа, а также повышать интенсивность циркуляции закалочного масла. Табл. 48 показывает, что при высоких температурах (630°) изотермической выдержки стойкость аустенита цементованного слоя в стали 20Х2Н4 значительно превышает стойкость



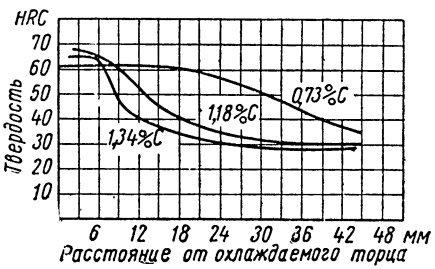
Фиг. 98. Прокаливаемость высоколегированной цементуемой стали: *1* — сталь 20Х2Н4А, нагрев под закалку 800°; *2* — сталь 20Х3ГФ, нагрев под закалку 860°.



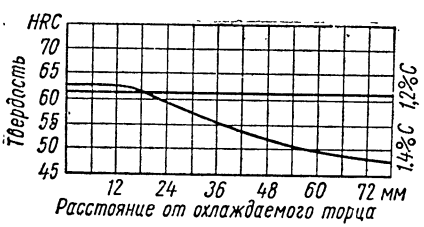
Фиг. 99. Пределы прокаливаемости стали 18ХГТ после закалки с 900° (построена по данным для десяти плавок).



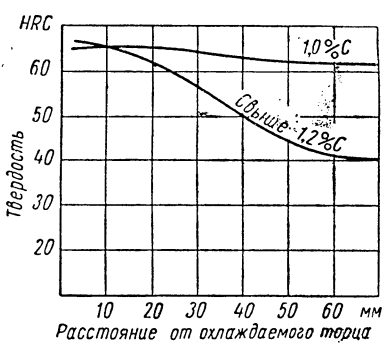
Фиг. 100. Пределы прокаливаемости стали 20НМ.



Фиг. 101. Прокаливаемость стали ХГТ с различным содержанием углерода. Температура закалки —860°.



Фиг 102. Прокаливаемость стали Х2Н4А с различным содержанием углерода. Температура закалки 800°



Фиг. 103. Прокаливаемость стали 20Х3ГФ с различным содержанием углерода. Температура закалки 880°.

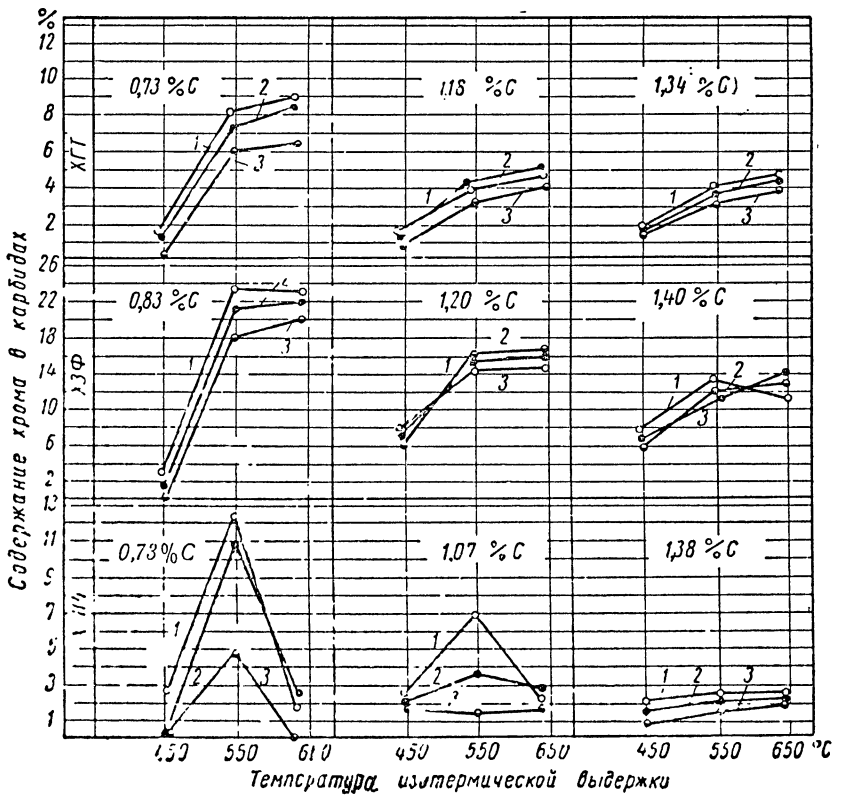
46. Химический состав и свойства цементуемых сталей

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Химический состав в %									Температура ковки в °С	Температура нормализации и отпуска в °С	Твердость (диаметр отпечатка по Бринелю)
		C	Si	Mn	Cr	Ni	S не более	P не более	V	Прочие элементы			
20Х2Н4А	ГОСТ 4543-57	0,15—0,22	0,17—0,37	0,3—0,6	1,25—1,75	3,5—3,75	0,02	0,02	—	—	1000—850	Нормализация 900—930. Отпуск 630—650	4,0
20НМ	ГОСТ 4543-57	0,17—0,25	0,17—0,37	0,4—0,7	0,3	1,5—2,0	0,035	0,035	—	Mo 0,2—0,3	1250—950	Нормализация 900—930	4,6
18ХГТ	ГОСТ 4543-57	0,16—0,24	0,17—0,37	0,8—1,1	1,0—1,1	0,4	0,035	0,035	—	Ti 0,08—0,15	1250—950	Нормализация 900—930	4,4
20ХЗГФ (ЭИ-927)	ТУ 6356-57	0,13—0,22	0,15—0,35	1,3—1,6	2,5—3,0	Не более 0,4	Не более 0,03	Не более 0,03	0,15—0,3	—	1250—950	Нормализация 900—930. Отпуск 680	4,0

47. Механические свойства сердцевины цементованных деталей из стали различных марок

Марка стали	Операция окончательной термической обработки	Механические свойства (не менее)						
		Предел прочности в *кГ/мм²*	Предел текучести в *кГ/мм²*	Относительное удлинение в %	Сжатие поперечного сечения в %	Ударная вязкость в *кГм/см²*	Твердость	
							Диаметр отпечатка по Бринелю	*HRC*
20Х2Н4А	Закалка 780° в масле. Отпуск 180°	120	110	9	45	8,0	3,1—3,5	33—40
20НМ	Закалка 820°. Отпуск 180°	85	65	11	50	8,0	3,6—4,2	20—30
18ХГТ	Закалка 860°. Отпуск 180°	115	95	10	50	8,0	3,1—3,6	30—40
20ХЗГФ (ЭИ-927)	Закалка 860°. Отпуск 180°	120	110	10	50	8,0	3,1—3,5	33—40

аустенита в сталях 20Х3ГФ и 18ХГТ. При низких температурах (ниже 550°) аустенит цементованного слоя стали лей из стали 20Х2Н4, обладающей большой прокаливаемостью, сохраняются значительные количества остаточного



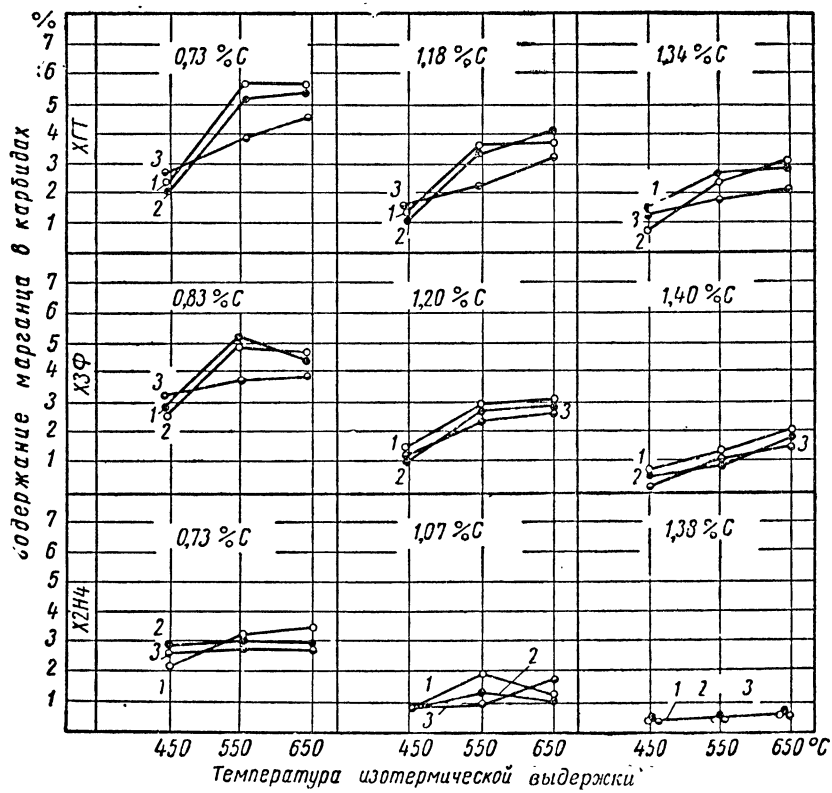
Фиг. 104. Изменение содержания хрома в карбидах цементуемой стали с различным содержанием углерода в зависимости от температуры и длительности отпуска. Закалка 1050°. Выдержка для стали ХГТ: *1* — 15 мин.; *2* — 3 сек.; *3* — 5 час. Выдержка для стали ХЗФ: *1* — 15 мин.; *2* — 3 часа; *3* — 6 час. Выдержка для стали Х2Н4: *1* — 30 мин.; *2* — 5 час.; *3* — 10 час.

20Х3ГФ приближается по устойчивости к стали 20Х2Н4. Ввиду указанного, необходимо закаливать цементованные детали из стали 20Х3ГФ и 18ХГТ в сильно циркулирующем масле без подстуживания.

Для предотвращения выделения сетки избыточных карбидов цементованные детали подшипников необходимо быстро охлаждать от температуры цементации до температуры 550° со скоростью охлаждения не менее 15—20° в секунду. При этом, в цементованном слое деталей аустенита. Остаточный аустенит эффективно разлагается при обработке холодом (фиг. 106—107). Однако эта обработка не применяется в производственной практике из-за образования больших напряжений и трещин в деталях. Как показывает табл. 48, наиболее быстрое превращение остаточного аустенита стали 20Х2Н4 в перлит достигается при отпуске 550°. Поэтому разложение аустенита достигается высокотемпературным отпуском при 550°. При более

высоких и более низких температурах распад остаточного аустенита этой стали при отпуске достигается только при значительно бо́льших вы-

Зависимость твердости нормально закаленных цементованных слоев сталей от температуры отпуска приводится на фиг. 110.

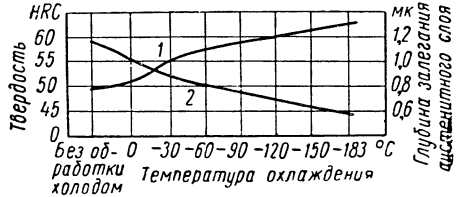


Фиг. 105. Изменение содержания марганца в карбидах стали ХГТ, ХЗФ и Х2Н4 с различным содержанием углерода в зависимости от температуры и длительности отпуска. Выдержка для стали ХГТ: *1* — 15 мин.; *2* — 3 часа; *3* — 5 час. Выдержка для стали ХЗФ: *1* — 15 мин.; *2* — 3 часа; *3* — 6 час. Выдержка для стали Х2Н4: *1* — 30 мин.; *2* — 5 час.; *3* — 10 час.

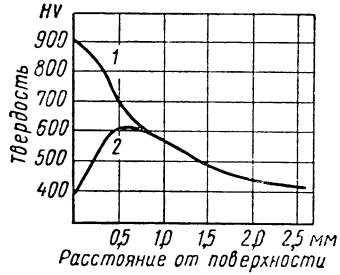
держках. После недостаточного по длительности отпуска, не обеспечивающего полного распада аустенита, при охлаждении имеет место превращение аустенита в мартенсит, сопровождаемое повышением твердости и значительными объемными изменениями (фиг. 108—109).

В результате этих объемных изменений в деталях подшипников возникают напряжения, представляющие опасность с точки зрения появления трещин.

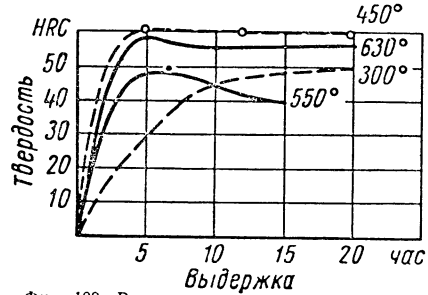
На фиг. 111 представлен график пределов усталости цементованных образцов при знакопеременном изгибе, а на фиг. 112 — пределы контактной усталости. Эти данные отвечают цементованным слоям со структурой мелкоигольчатого мартенсита и равномерно распределенными избыточными карбидами. Наличие карбидной сетки и крупных карбидных скоплений резко понижают циклическую прочность и контактную выносливость цементованных деталей.



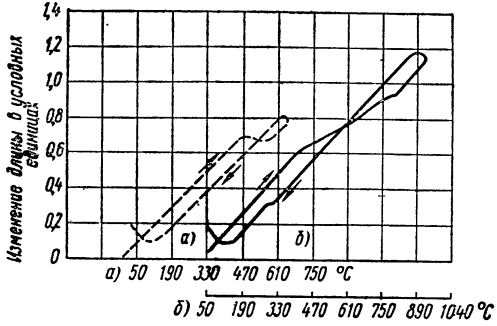
Фиг. 106. Зависимость полноты мартенситного превращения в закаленном цементованном слое стали марки 20Х2Н4А от температуры обработки холодом: *1* — твердость; *2* — глубина залегания аустенита.



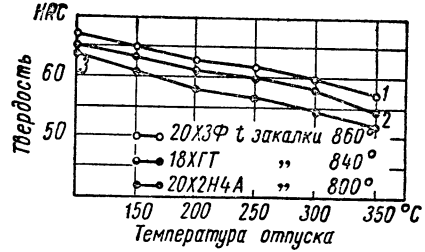
Фиг. 107. Распределение твердости по глубине закаленного цементованного слоя марки 20Х2Н4А: *1* - цементация, непосредственная закалка, обработка холодом при —183°, отпуск +200°; 2-цементация, закалка, отпуск 200°.



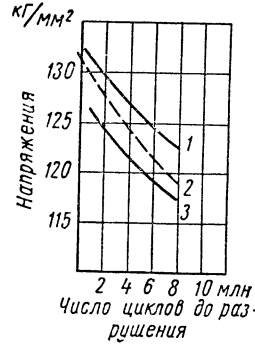
Фиг. 108. Влияние температуры и длительности отпуска на твердость цементованного слоя стали марки 20Х2Н4А, закаленного от температуры цементации.



Фиг. 109. Изменение длины цементованных образцов стали 20Х2Н4А в процессе нагрева и охлаждения после закалки на аустенит: *а* — нагрев до 600°; *б* — нагрев до 820°.



Фиг. 110. Зависимость твердости закаленного цементованного слоя различных сталей от температуры отпуска: *1* — сталь 20Х3Ф, закалка 860°; *2* — сталь 18ХГТ, закалка 840°; *3* — сталь 20Х2Н4А, закалка 800°.

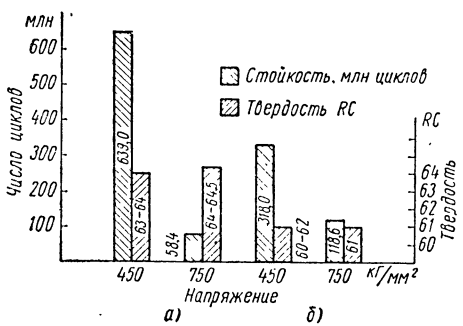


Фиг. 111. Предел усталости нормально обработанных (см. табл. 52) цементованных образцов при знакопеременном изгибе (консольный образец): *1* — 20Х2Н4А; *2* — сталь 20Х3Ф; *3* — сталь 18ХГТ.

48. Стойкость аустенита стали 18ХГТ, 20Х2Н4А и 20Х3ГФ в зависимости от содержания углерода при различных температурах изотермической выдержки

Марка стали	Содержание углерода в стали в %	Температура изотермической выдержки * в °С							
		630		600		550		450	
		Время распада в сек.							
		на 3 %	на 90 %**	на 3 %	на 90 %**	на 3 %	на 90 %**	на 3 %	на 90 %**
ХГТ	0,26	18	20	2	25	2	159	1,4	29
Х2Н4	0,27	36	168	50	479	75	5500	10	90
ХГТ	0,45	7	28	5	38	9	174	6	159
Х2Н4	0,45	98	276	139	694	500	4790	275	—
Х3ГФ	0,42	320	1 100	900	3500	10 000	—	300	—
ХГТ	0,73	20	40	18	40	28	110	55	2 400
Х2Н4	0,73	12 600	>40 000	400	750	250	730	500	28 900
Х3ГФ	0,83	80	170	130	550	900	5800	4000	—
ХГТ	1,18	12	37	10	30	5	20	20	126
Х2Н4	1,07	631	3 000	—	—	60	200	110	300
Х3ГФ	1,25	45	90	55	115	155	680	155	—
ХГТ	1,34	12	40	8	32	4	10	7	40
Х2Н4	1,38	10 000	—	264	690	99	209	80	230
Х3ГФ	1,35	28	55	33	78	90	300	70	20 000

* Температура закалки: 18ХГТ и 20Х3ГФ — 860°; 20Х2Н4 — 800°.
** Для стали 20Х2Н4 на 50 %.



Фиг. 112. Контактная выносливость нормально обработанных (см. табл. 52) цементованных образцов (среднее из семи образцов): *а* — сталь 20Х3Ф; *б* — сталь 20Х2Н4А.

Технология цементации и последующей термообработки деталей подшипников

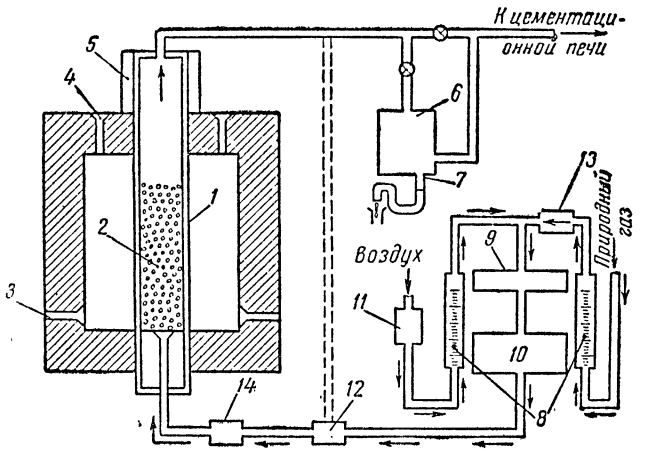
Характеристика карбюризаторов для цементации подшипниковых сталей приводится в табл. 49. Для цементации необработанным городским или природным газом пригодны только муфельные печи с хорошей герметизацией. Использование этих газов в безмуфельных печах не дает удовлетворительных результатов из-за осаждения сажи и кокса на нагревателях и из-за невозможности создать достаточно высокое давление в камерах этих печей. Для безмуфельных печей необходимо применять эндотермический газ, содержащий малые количества метана в смеси с природным или го-

49. Химический состав рекомендуемых газовых карбюризаторов для цементации

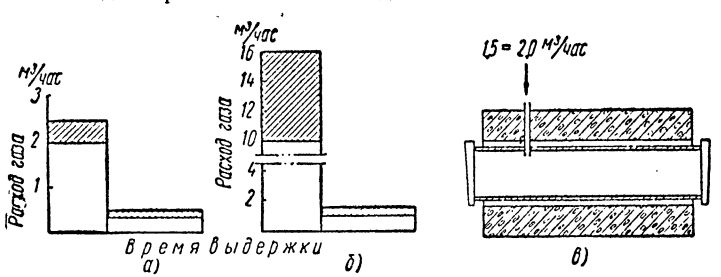
Наименование	Содержание в %							
	CO	C_nH_{2n}	CH_4	H_2	C_2H_6	CO_2 не более	O_2 не более	N_2
Углеводородные газы								
Нефтяной	Нет	До 30	До 50	20	5	1	0,5	Остальное
Пиролизный из керосина	Нет	30	30—40	15—25	10—15	1	0,5	»
Светильный	12	До 10	40	40	6	6	0,5	»
Естественный природный и городской	—	2	55—95	10	6	0,5	0,5	»
Эндотермический газ	20	0,0	До 2,0	40	0,0	0,2	0,0	Остальное

родским газами. При цементации такая смесь подается в безмуфельные печи в количестве в 7—10 раз большем, чем при цементации необработанным природным или городским газом, что позволяет создать в печи повышенное давление и воспрепятствовать проникновению в газонеплотную безмуфельную печь кислорода воздуха. Схема генераторной установки для приготовления эндогаза из природного газа показана на фиг. 113. Для производства 1 $м^3$ эндогаза расходуется 0,255 $м^3$ природного газа с 75% метана и 0,46 $м^3$ воздуха.

Соотношение объемов природного газа и эндотермического газа в цементующей смеси, подаваемой в муфель печи, зависит от типа печи. В печах периодического действия содержание природного газа в цементующей смеси, подаваемой в течение начального периода цементации, составляет 8—20%. В течение периода прогрева садки и диффузионной выдержки стали подается только эндотермический газ, а природный газ не добавляется.



Фиг. 113. Схема генераторной установки для производства эндотермического газа: *1* — муфель; *2* — катализатор; *3* — горелка; *4* — дымоход; *5* — водяное охлаждение; *6* — холодильник для газа; *7* — конденсационный водоотделитель; *8* — газомер; *9* — регулятор; *10* — насос-смеситель; *11* — фильтр; *12* — регулятор соотношения; *13* — регулятор давления; *14* — предохранительный клапан от переброски пламени.

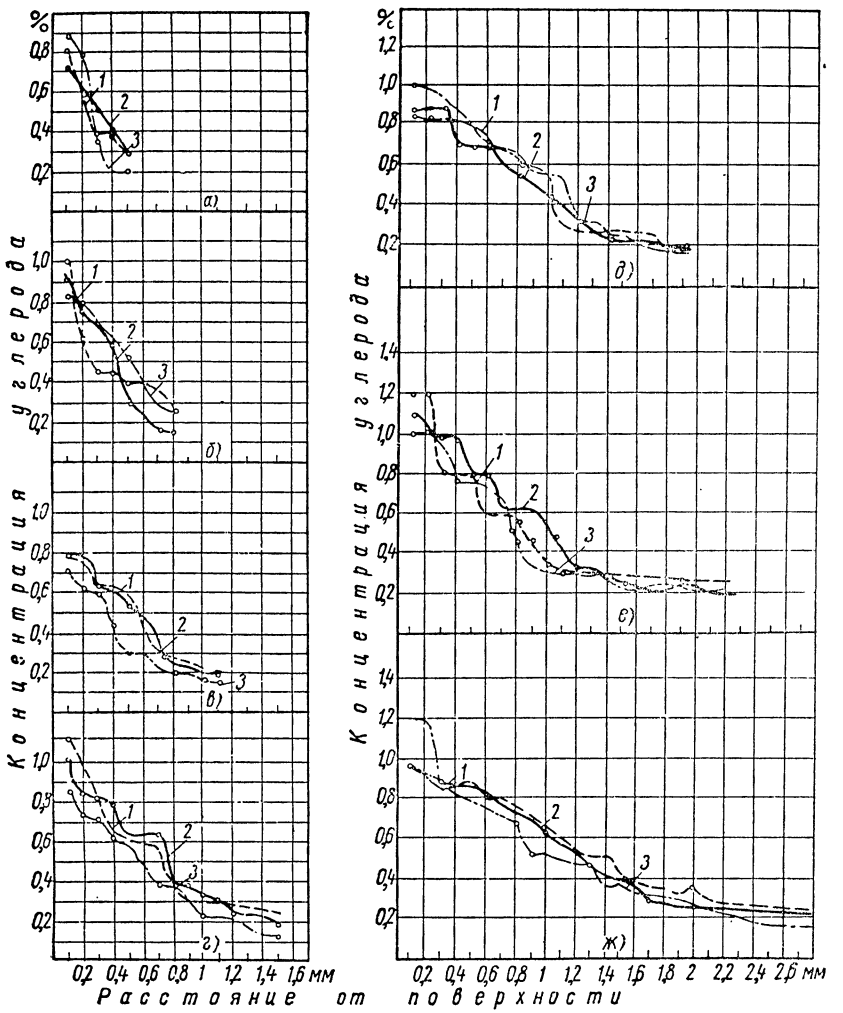


Фиг. 114. Типовое регулирование скорости подачи карбюризатора в цементационные печи в различные периоды выдержки: *а* — в печи Ц-105 или Ц-90; *б* — в печи Ц-250; *в* — в муфельные печи с толкателями (Ц-160 или МОСЗИЛ).

В методических печах природный газ в количестве 8—20% добавляется к эндогазу только в первую зону печи.

Регулирование процесса цементации и расчет длительности процесса. В процессе цементации, для устранения образо-

вания избыточных карбидов и карбидной сетки, применяется регулирование активности карбюризатора. В начальный период цементации, составляющий 10—30% от общего времени, но не менее 1—2 час. (считая от момента достижения деталями температуры 800°), в печь подается максимальное количество карбюризатора; в течение всего остального времени цементации подача карбюризатора резко сокращается. Примерные схемы регулирования процесса приведены на фиг. 114. Наряду с улучшением распределения концентрации углерода в цементованном слое, регулирование позволяет сократить время цементации на 10—30%, в особенности при малых и средних глубинах слоя, умень-



Фиг. 115. Распределение углерода по глубине цементованного слоя в результате регулирования процесса цементации при 900° после различной длительности выдержки. Печь типа Ц-35. Подача керосина; вначале по 150 кап/мин остальное время выдержки — по 15—20 кап/мин; *1* — сталь 20Х3Ф; *2* — сталь 18ХГТ; *3* — 20Х2Н4А; выдержка; *а* — 1 ч. 25 м.; *б* — 3 час., *в* — 7 час., *г* — 10 час.; *д* — 15 час.; *е* — 20 час.; *ж* — 40 час.

шить расход карбюризатора на 10—15% и уменьшить осаждение сажи и кокса на поверхности деталей. Регулирование процесса особенно важно при высокотемпературной цементации. Характер распределения углерода в цементованном слое подшипниковых сталей, полученном в условиях регулируемой цементации, показан на фиг. 115.

В табл. 50 приводится рекомендуемое содержание метана в заполняющем муфель печи цементующем газе для разных периодов цементации. Количество

50. Требуемое содержание метана в цементующем газе, заполняющем муфель печи (по анализу газа, отходящего из печи)

Температура цементации в °С	Коэффициент диссоциации метана	Требуемый % метана в период цементации	
		начальный	конечный
930	0,17	19	5
1000	0,31	17	4
1050	0,45	17	3,5
1100	0,60	15	3

газа, которое необходимо подавать в муфель печи на разных стадиях процесса цементации, может быть подсчитано по графикам, приведенным на фиг. 116—118, и следующим формулам:

скорость поглощения углерода цементуемыми деталями, находящимися в 1 литре объема муфеля печи,

$$v_n = 1{,}115 \frac{e^{-\frac{7280}{T}}}{\sqrt{t}} \quad г/час;$$

скорость выделения атомарного углерода одним литром цементующего газа, окружающего цементуемые детали,

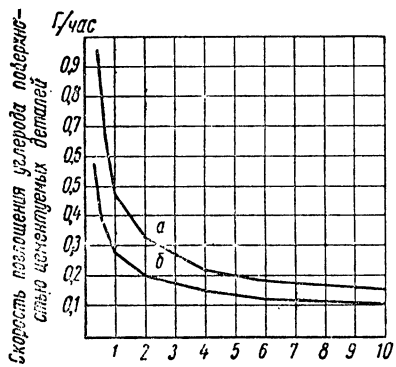
$$v_в = 87{,}2\, K \frac{X}{T} \quad г/час.$$

Скорость подачи цементующего газа в муфель цементационной печи

$$A = \frac{160}{T} K \cdot X \cdot \frac{100 + X}{P - X},$$

где v_n — скорость поглощения углерода деталями; $v_в$ — скорость выделения углерода углеводородным цементующим газом; A — расход газа в $м^3/час$ на 1 $м^3$ объема муфеля; P — содержание метана в свежем цементующем газе; X — требуемое содержание метана в газе, заполняющем муфель (табл. 50); K — коэффициент диссоциации метана (табл. 50); T — температура цементации в °С.

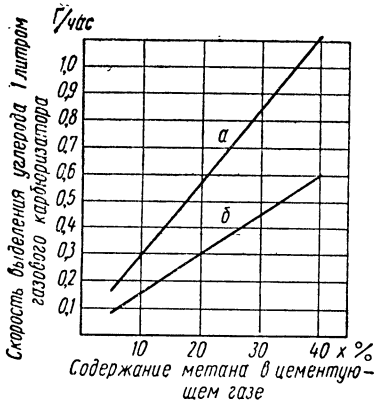
Пример расчета требуемой скорости подачи цементующих газов. Пользуясь графиками (см. фиг. 116—118), рассчитаем скорости подачи цементующего газа на единицу объема муфельных садочных цементационных печей. Принимаем, что в качестве цементующего



Фиг. 116. Зависимость скорости поглощения углерода поверхностью цементуемых деталей в разные периоды цементации (принято, что детали, находящиеся в 1 $л$ объема муфеля цементационной печи имеют поверхность, равную 200 $см^2$); $а$ — цементация при 1050°; $б$ — цементация при 940°.

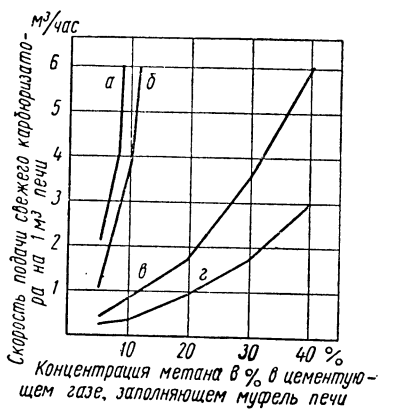
газа применяется природный необработанный газ, содержание метана в котором находится в пределах 80—95%. После прогрева до температуры цементации, например до 940° через 0,6 час. от начала выдержки поверхности деталей поглощают углерод со скоростью 0,4 $кГ/час$. В дальнейшие периоды цементации скорость поглощения углерода поверхностями цементуемых деталей резко уменьшается (см. фиг. 116) и становится равной примерно 0,1 $Г/час$. Такое количество углерода, как видно из фиг. 117, способны выделять цементующие газы, окружающие детали, при условии содержания в них метана 28% в первом и 7% во втором периоде.

Для поддержания в заполняющем муфель печи цементующем газе указан-



Фиг. 117. Зависимость скорости выделения атомарного углерода цементующим газом от содержания в нем метана; *а* — цементация 1050°; *б* — цементация 940°.

ных концентраций метана необходимо подавать в него, как видно из фиг. 118, природный газ со скоростью в первый



Фиг. 118. Скорость подачи разных по содержанию метана свежих цементующих газов в зависимости от требуемой концентрации в муфеле печи метана и температуры цементации: *а* — цементация при температуре 1050° при содержании в свежем цементующем газе 20 % метана; *б* — цементация при температуре 940° при содержании в свежем цементующем газе 20% метана; *в* — цементация при температуре 1050° при содержании в свежем цементующем газе 20 % метана: *г* — цементация при 940° при содержании в свежем цементующем газе 90 % метана.

период 1,5 *м³/час*, а во второй — 0,2 *м³/час* на каждый *м³* объема муфеля печи. Таким же методом рассчитывается скорость подачи при других заданных условиях цементации: температуры или состава по содержанию метана цементующего газа.

В непрерывных муфельных цементационных печах с толкателями, например в печах Ц-160 или ЗИЛ, начальный период активной цементации осуществляется в передней зоне, длина которой составляет 30—40% от общей длины муфеля между дверцами. Поэтому цементующий газ необходимо подавать только в эту зону и рассчитывать скорость подачи газа в соответствии с ее объемом. В методических муфельных печах типа Ц-160 или ЗИЛ объем передней активной зоны составляет 1,2 *м³*. Скорость подачи цементующего газа в эту зону согласно расчетам должна быть максимальной и равной теоретически 1,8 *м³/час* без учета потерь газа через загрузочные и разгрузочные дверцы. В последних зонах муфеля этих печей скорость поглощения поверхностями деталей резко замедляется (см. фиг. 116). Поэтому в задние зоны муфелей непрерывных печей подавать свежий цементующий газ не рекомендуется, так как поступающий из передних в задние зоны отходящий цементующий газ имеет достаточную активность для создания диффузионного периода и выравнивания концентраций углерода по глубине цементованного слоя.

Скорость подачи синтетических цементующих газов, составляемых из эндотермического и природного газов, как видно из фиг. 118, должна быть больше скорости подачи природного газа в 8—10 раз. Указанное объясняется тем, что в природном газе содержится обычно от 70 до 95%, а в синтетическом только 18—25% метана.

Необходимая длительность цементации в условиях регулирования процесса подсчитывается по формуле

$$t = \left(\frac{h}{a}\right)^2,$$

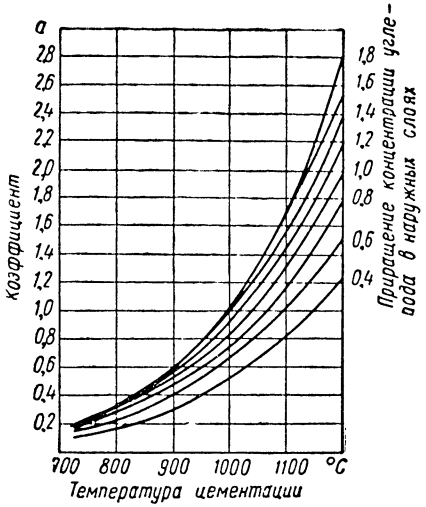
где h — требуемая глубина цементации (полная) в *мм*; t — искомая длительность цементации в час; a — глубина цементованного слоя, получаемая за первый час выдержки, зависящая от температуры цементации и требуемого прира-

51. Длительность цементации в час.

Температура цементации в °С	Максимальные концентрации углерода в цементованном слое в %								
	0,8			1,1			1,4		
	Глубина слоя								
	1,0	2,0	6,0	1,0	2,0	6,0	1,0	2,0	6,0
930	4,0	16,0	144,0	3,1	12,3	113,0	2,7	10,3	93,0
970	2,0	8,2	71,0	1,6	6,25	56,5	1,25	5,0	45,0
1050	1,1	4,5	40,0	0,83	3,4	30,0	0,65	2,6	23,0

щения концентрации углерода на поверхности детали.

Значения величины *a* приводятся на фиг. 119.

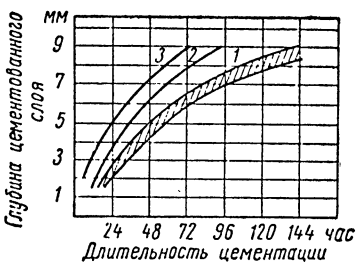


Фиг. 119. Зависимость глубины цементованного слоя за первый час выдержки от температуры цементации и приращения концентрации углерода в слое.

Длительность выдержки для различных степеней насыщения поверхностного слоя углеродом, глубин слоя и температур цементации приведена в табл. 51.

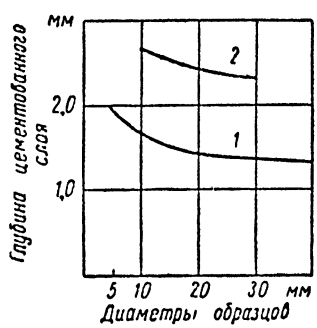
На фиг. 120 показаны практические данные о зависимости между глубиной цементованного слоя и длительностью цементации.

Контроль глубины цементованного слоя производится по образцам-свидетелям, диаметр которых должен превышать ожидаемую глубину слоя не менее



Фиг. 120. Зависимость глубины цементованного слоя деталей от температуры и длительности выдержки: *1* — 930°; *2* — 970°; *3* — 1050°.

чем в 10 раз. В противном случае результат контроля будет завышенным (фиг. 121).

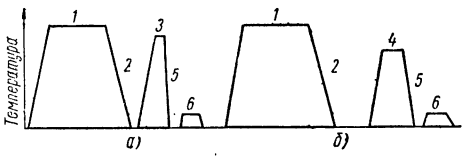


Фиг. 121. Зависимость глубины цементованного слоя от диаметра образца. Цементация при 930°: *1* — длительность цементации 6 час.; *2* — 15 час.

Режимы термической обработки. Рекомендуемые режимы цементации и термической обработки, приведенные в табл. 52 и схематически показанные на

52. Типовые режимы термической обработки цементованных деталей подшипников

Наименование деталей	Марка стали	Режим цементации			Способ охлаждения	Режим отпуска перед окончательной закалкой	Нагрев под закалку в °С	Закалка	Отпуск в °С
		Печи	Загрузка	Температура в °С					
Конические кольца холодноштампованные	18ХГТ	Ц-160	В кассетах на поддонах	1050—970	В кассетах на воздухе	Нет	860—820	В штампах в масле	160°—2 часа
То же	13ХГТ 20НМ	Ц-90 Ц-105	В корзинах	970—1050	В корзинах	Нет	860—820	То же	160°—2 часа
Крупногабаритные кольца и ролики	20Х2Н4А	Ц-250	На крестовинах, стопками с прокладками между кольцами	940—970	Неполная закалка-охлаждение до 200° в масле, перенос в отпускную печь при 550°	Выдержка 8 час при 550°, затем 8 час при 630° и охлаждение на воздухе	800	Кольца на оправках в циркулирующем масле; ролики—индивидуально	160°—12 часа
Крупногабаритные кольца и ролики	20Х2Н4А	Ц-105	То же	970—940	То же	То же	800	То же	То же



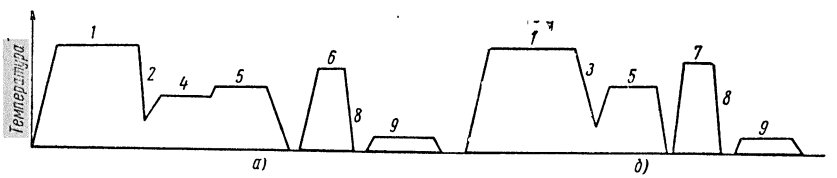
Фиг. 122. Режимы термической обработки цементованных колец конических подшипников: *а* — сталь 18ХГТ; *б* — сталь 20НМ; *1* — цементация; *2* — быстрое охлаждение; *3* — нагрев 860°; *4* — нагрев 820°; *5* — закалка в масле; *6* — отпуск 160°.

фиг. 122 и 123, требуют, чтобы в процессе химико-термической обработки деталей перед окончательной закалкой были выполнены следующие операции:

а) регулирование процесса цементации как необработанными природными газами и жидкими карбюризаторами, так и синтетическими газовыми смесями (см. стр. 390—394);

б) быстрое охлаждение деталей от температуры цементации с целью устранения выпадения карбидной сетки (для этого применяется неполная закалка в масле крупногабаритных колец и охлаждение в разброс на воздухе мелких колец);

в) промежуточная термическая обработка: первый отпуск при 550° для разложения остаточного аустенита в феррито-карбидную смесь и второй отпуск при 630° для сфероидизации карбидов цементованного слоя стали 20Х2Н4А.



Фиг. 123. Режимы термической обработки цементованных колец крупногабаритных подшипников; *а* — 20Х2Н4А; *б* — сталь 20Х3ФЦ; *1* — цементация; *2* — неполное охлаждение в масле до 200°; *3* — охлаждение в отпускной печи, нагретой до 300°; *4* — отпуск 550°; *5* — сфероидизация 630°; *6* — нагрев 800°; *7* — нагрев 880°; *8* — закалка в масле; *9* — отпуск 160°.

Оборудование для цементации. Характеристика типовых цементационных печей приводится в табл. 53.

53. Технические характеристики печей для цементации и последующей термической обработки деталей подшипников

Модель печи	Диаметр в *мм*	Высота в *мм*	Номинальная мощность в *квт*	Число фаз	Число тепловых зон	Максимальная рабочая температура в °С	Максимальная одновременная загрузка в *кГ*	Напряжение питающей сети в *в*	Габаритные размеры (длина × ширина × высота)
Шахтные электропечи для газовой цементации									
ЭНИИПП	300	500	20	1	1	1100	50	380	⌀1300×1500
Ц-25	300	450	25	3	1	950	50	380/220	1420×1790×1980
Ц-35	300	600	35	3	1	950	100	То же	1420×1790×2320
Ц-60	450	600	60	3	2	950	150	»	1590×1970×2390
Ц-75	450	900	75	3	2	950	220	»	1590×1970×2760
Ц-90	600	900	90	3	2	950	400	»	1770×2170×2880
Ц-105	600	1200	105	3	2	950	500	»	1770×2170×3220
Шахтные электропечи для газовой цементации крупногабаритных колец									
ЦЭП-250	1800	1500	210	3	1	920	2000	380	5000×3500×5000

Продолжение табл. 53

Модель печи	Диаметр в *мм*	Высота в *мм*	Номинальная мощность в *квт*	Число фаз	Число тепловых зон	Максимальная рабочая температура в °С	Максимальная единовременная загрузка в *кГ*	Напряжение питающей сети в *в*	Габаритные размеры (длина × ширина × высота)
Шахтные электропечи для нагрева крупногабаритных колец под закалку									
ЦЭП-251	2000	1500	180	3	2	950	2000	380	5000×3500×5000
Шахтные электропечи для отпуска крупногабаритных колец									
ЦЭП-252	1800	1500	60	3	1	220°	2000	380	4700×3000×4500
Муфельная цементационная печь непрерывного действия с толкателем									
Ц-160	Длина муфеля 5100	Ширина муфеля 850	160	3	4	970	400—800 колец ⌀60÷100 *мм* в час	380/220	8800×2500×2530
Электрическая безмуфельная цементационная печь с толкателем									
ОКБ-562	Длина камеры 5145	Ширина камеры 700	255	3 и 1	4	1100	315 *кГ/час*	380	16245×3000×7085
Газовая безмуфельная печь с трубчатыми нагревателями									
Автозавод им. Лихачева	Длина камеры 7648	Ширина камеры 600	Расход городского газа 74,5 *м³/час*	—	—	1000	400 *кГ/час*	—	14500×2200×4290
Двухручьевая установка скоростной цементации колец с нагревом ТВЧ конструкции ЗИЛ									
Автозавод им. Лихачева	Диаметр муфеля в *мм* 82	Высота муфеля в *мм* 1336	Мощность генератора в *квт* 100—150	Количество индукторов—2	3	1100	100—120 колец ⌀ 80 *мм*	—	2000×1000×2000

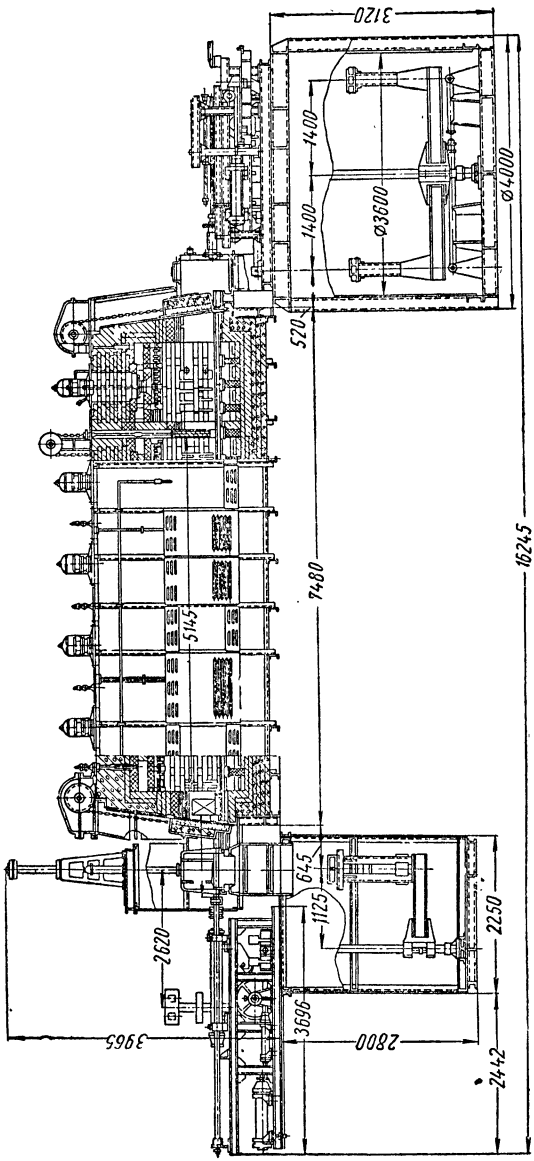
На фиг. 124—126 показаны новые конструкции печей для газовой цементации (методические безмуфельные цементационные печи).

Характеристики этих печей приведены в табл. 53.

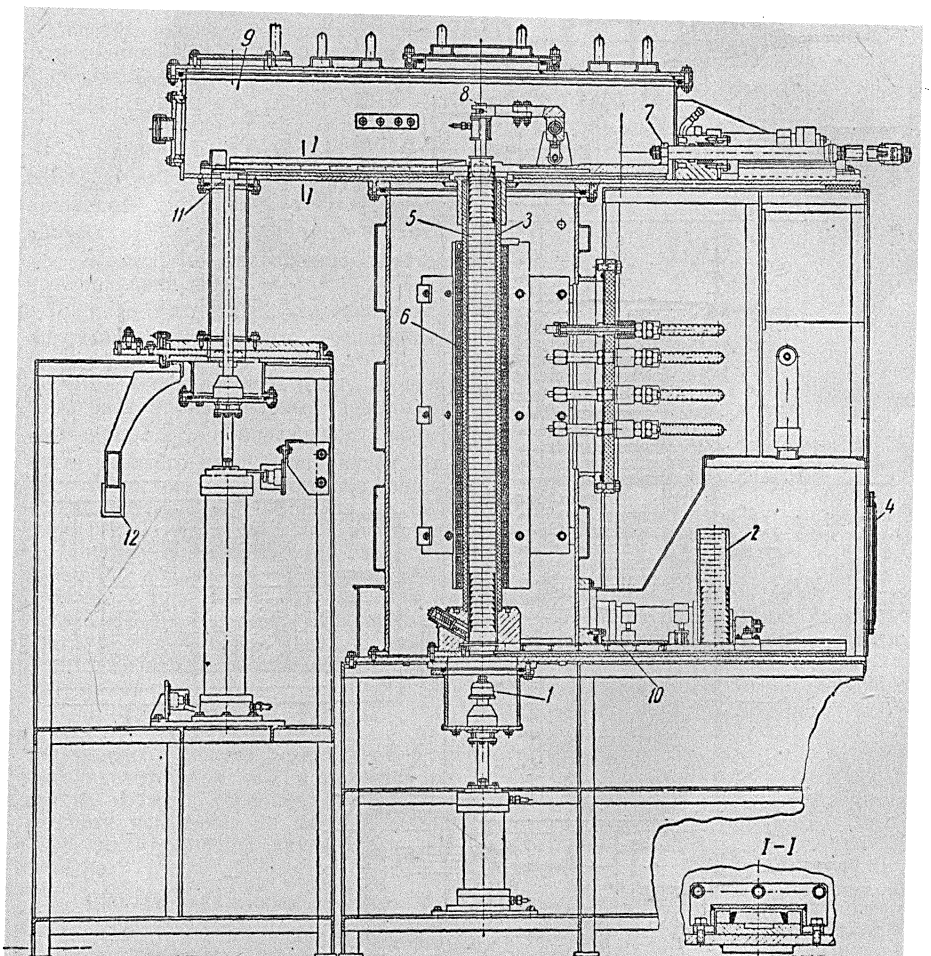
Длительность прогрева садки подшипниковых колец в различных печах приводится в табл. 54.

54. Длительность прогрева садки в цементационных печах до температуры цементации

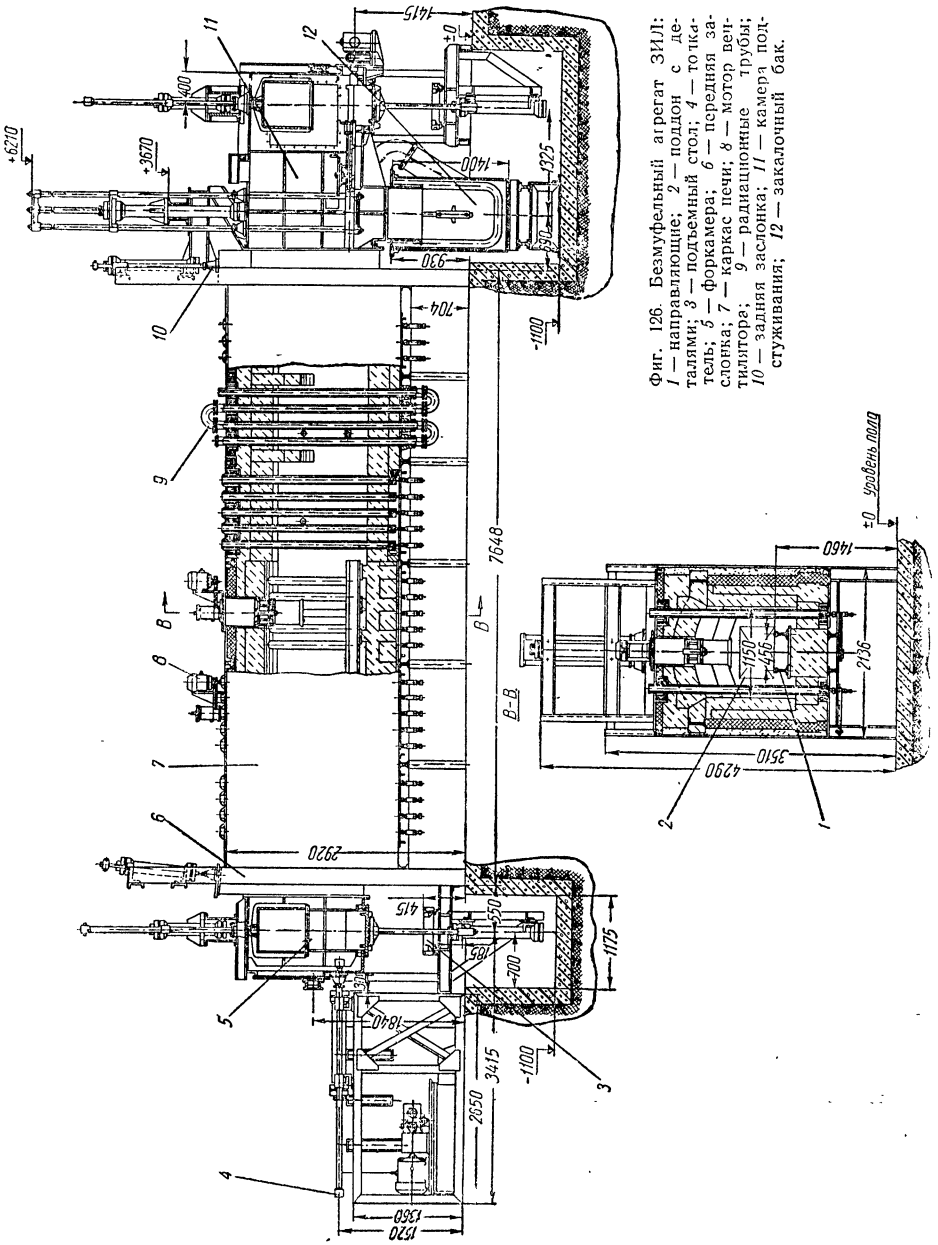
Тип печи	Длительность прогрева в час
Ц-35, Ц-60	3—4
Ц-90, Ц-105	5—7
ЦЭП-250	10—15
Ц-160	2—3
Высокочастотная	0,1



Фиг. 124. Разрез безмуфельной цементационной электропечи конструкции треста «Электропечь».



Фиг. 125. Двухручьевая установка для цементации колец подшипников с нагревом т. в. ч.: *1* — подъемник; *2* — приемник; *3* — керамическая труба; *4* — окно загрузки; *5* — цементуемые кольца; *6* — индуктор; *7* — толкатель; *8* — лапа для переноса колец; *9* — форкамера; *10* — цементуемые кольца; *11* — опускающийся стол; *12* — лоток выдачи.



Фиг. 126. Безмуфельный агрегат ЗИЛ: *1* — направляющие; *2* — поддон с деталями; *3* — подъемный стол; *4* — толкатель; *5* — форкамера; *6* — передняя заслонка; *7* — каркас печи; *8* — мотор вентилятора; *9* — радиационные трубы; *10* — задняя заслонка; *11* — камера подстуживания; *12* — закалочный бак.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ЗАКАЛЕННЫХ ПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ

Способы нагружений при статических испытаниях [27] характеризуются коэффициентом мягкости (или жесткости):

$$\alpha = \frac{t_{max}}{S^{n}_{max}},$$

где t_{max} — максимальное касательное напряжение (критерий третьей теории прочности; S^{n}_{max} — наибольшее приведенное нормальное напряжение (критерий второй теории прочности).

Принято считать [28], что величина t_{max} определяет возможность возникновения пластической деформации, а после ее развития — возможность разрушения путем среза от касательных напряжений. Величина S^{n}_{max} определяет возможность хрупкого разрушения путем отрыва от нормальных растягивающих напряжений, т. е. самого опасного из видов разрушений, встречающихся на практике. Определение прочностных свойств закаленных подшипниковых сталей следует вести при различных способах нагружения, так как работоспособность деталей подшипников качения зависит от вязкой и хрупкой прочности закаленной стали.

Испытание на сжатие

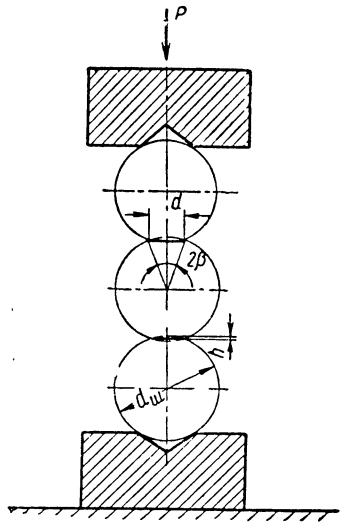
Одноосное сжатие характеризуется коэффициентом $\alpha = 2$ и является одним из мягких способов нагружения. Поэтому испытание на сжатие применяют для материалов, хрупких при растяжении.

Сжатие закаленных шариков

Одним из основных методов контроля качества закаленных шариков является испытание их на разрушение по методу Штребека [29] сжатием трех шариков одинаковых размеров (фиг. 127).

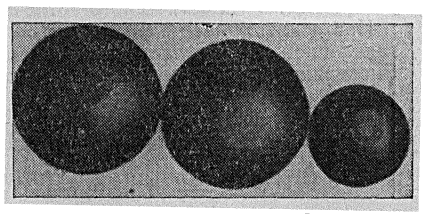
Г. П. Зайцев [30] считает, что при большой хрупкости закаленной подшипниковой стали трудно получить пластические отпечатки. Такое утверждение противоречит экспериментальным фактам. В зоне контакта при сжатии закаленных на высокую твердость шариков получаются пластические отпечатки (фиг. 128).

Макроизломы закаленных шариков (*HRC* 62—64), разрушенных при статическом сжатии, показывают, что дефор-

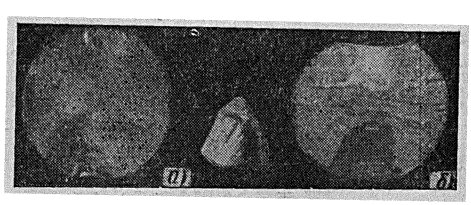


Фиг. 127. Схема расположения шариков при испытании на сжатие.

мированные объемы материала под поверхностью пластических отпечатков связаны в первую очередь с касательными

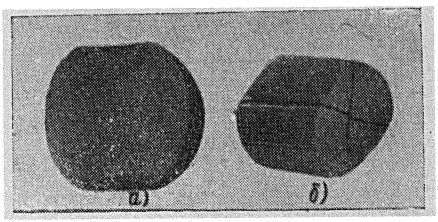


Фиг. 128. Пластические отпечатки на поверхности закаленных шариков при испытании на сжатие (твердость шариков *HRC* 62—64).



Фиг. 129. Макроизломы разрушенных при сжатии шариков, закаленных на высокую твердость; *а* — излом после удаления приложенной нагрузки; *б* — излом в процессе нагружения.

напряжениями (фиг. 129). Закаленные на высокую твердость шарики разрушаются как при удалении некоторой критической нагрузки, так и в стадии нагружения. Разрушение шариков в стадии нагружения происходит в результате образования конуса скольжения (фиг. 129, *б*) от касательных напряжений. По мере понижения твердости шариков или роликов касательные напряжения концентрируются в средней части сферического или цилиндрического образца (фиг. 130).



Фиг. 130. Концентрация касательных напряжений в средней части шарика и ролика.

Механизм разрушения сферических образцов показывает, что качество поверхности закаленных шариков не может оказывать существенного влияния на величину разрушающей нагрузки, так как разрушение шариков происходит от касательных напряжений, развивающихся под поверхностью пластического отпечатка.

При сжатии шариков сопротивление закаленной стали пластическому деформированию в зоне контакта характеризуется напряжением S' отнесенным к поверхности пластического отпечатка диаметром d, и подсчитывается по формуле

$$S' = \frac{4P}{\pi d^2} \; кГ/мм^2,$$

а пластическая деформация в зоне контакта — по уравнению

$$\left(\frac{d}{d_ш}\right)^2 = \sin^2 \beta \approx 4 \frac{h}{d_ш},$$

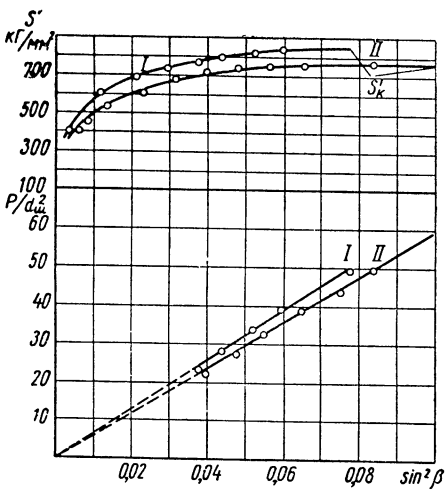
где P — нагрузка в $кГ$; h — высота сегмента площадки контакта в $мм$; β — половина центрального угла (фиг. 127).

Для шариков всех размеров существует зависимость

$$\frac{P}{d_ш^2} = \pi S \sin^2 \beta \approx \pi S' \frac{h}{d_ш},$$

которая удовлетворяет известному закону подобия.

Закономерность пластического деформирования материала в зоне контакта при сжатии закаленных шариков показана на диаграмме (фиг. 131), из которой видно, что величина коэффициента нагруженности $\frac{P}{d_ш^2}$ при значительных пластических отпечатках изменяется по линейному закону, причем пунктирная



Фиг. 131. Диаграмма сжатия закаленных на высокую твердость шариков: *I* — твердость *HRC* 62—64; *II* — твердость *HRC* 61—62.

прямая проходит через начало координат. Последнее свидетельствует о том, что при сжатии закаленных шариков первые признаки пластической деформации в зоне контакта возникают в весьма небольшом объеме материала.

Интенсивность прироста напряжения S' постепенно уменьшается при увеличении коэффициента нагруженности $\frac{P}{d_ш^2}$ и кривая S' выходит на прямую, параллельную горизонтальной оси. Такой ход кривой дает основание утверждать, что при нагрузках, близких к разрушающим, закаленная на высокую твердость сталь находится в зоне контакта в состоянии текучести, и пластическое упрочнение материала под поверхностью контакта достигает предельного насыщения (образование конуса скольжения см. на фиг. 129, *б*). Опытным пу-

тем установлено, что шарики с одинаковой по всему сечению (объему) твердостью *HRC* 62—64 разрушаются при напряжении $S'_к = 780—840$ *кГ/мм²*; первые признаки пластической деформации в зоне контакта появляются при напряжении $S' = 280 \div 320$ *кГ/мм²*, эквивалентном коэффициенту нагруженности $\frac{P}{d_ш^2} = 1$.

Следует отметить, что сопротивляемость материала в зоне контакта зависит от геометрической формы контактной площадки. Так, например, соотношение между величинами напряжений S' в случае круговой площадки (сжатие шарика с шариком или шарика с плоскостью) и в случае линейного контакта в виде полоски (сжатие двух цилиндров, параллельно расположенных один над другим) составляет 1,58 [31] и близко подходит к коэффициенту 1,52 [32].

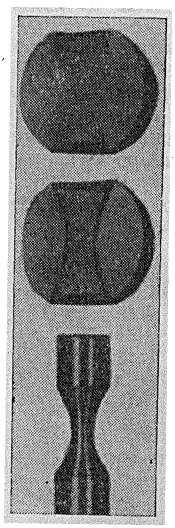
Согласно ГОСТ 3722-54 для шариков $^1/_8''$ (3,175 *мм*) величина минимальной разрушающей нагрузки $P = 54{,}5 d_ш^2$, а для шариков $1^3/_4''$ (44,45 *мм*) — $P = 47\ d_ш^2$. Для шариков промежуточных размеров коэффициенты нагруженности $\frac{P}{d_ш^2}$ изменяются между 54,5 и 47 пропорционально их диаметру.

По данным фирмы SKF разрушающая нагрузка закаленных шариков должна быть не ниже $P = 49{,}5\ d_ш^2$, причем для шариков всех размеров от $^1/_8''$ до $1^1/_2$ включительно величина $\frac{P}{d_ш^2} = \text{const} = 49{,}5$.

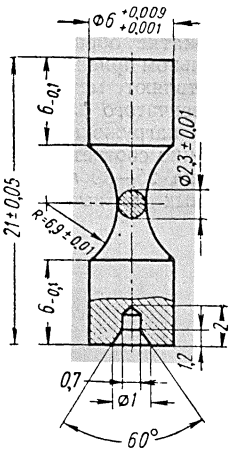
Коэффициент нагруженности $\frac{P}{d_ш^2}$, отвечающий разрушению закаленных шариков, примерно в пятьдесят раз больше коэффициента нагруженности, величина которого соответствует первым признаком пластической деформации в зоне контакта сжимаемых закаленных шариков твердостью больше *HRC* 61.

Сжатие образцов с выточкой

Пластичность закаленных на высокую твердость сталей определяется при сжатии цилиндрических образцов в камере высокого гидростатического давления или в обоймах из пластичных материалов [33]. Исходя из того, что детали подшипников качения работают в условиях сосредоточенной деформации, целесообразно механические свойства закаленных подшипниковых сталей определять не при деформировании всего объема цилиндрического стержня, а при локальной деформации, испытывая образцы с выточкой. Основные контуры образца с выточкой были получены [31] путем нанесения кривых по контурам действия касательных напряжений (фиг. 132), воз-



Фиг. 132. Основные контуры образца с выточкой.



Фиг. 133. Формы и размеры образца с выточкой для испытаний на сжатие, кручение, растяжение, изгиб и контактную выносливость.

никающих при сжатии закаленных шариков.

В целях получения сопоставимых результатов, прочность закаленных сталей при сжатии, растяжении, кручении, изгибе и на контактную выносливость определяют при испытании образцов с выточкой, одинаковых по конструкции и размерам (фиг. 133).

Для получения более достоверных данных о прочностных свойствах закаленных сталей, образцы с выточкой вырезаются следующим образом: из штанги для удаления менее плотных по макроструктуре объемов металла вытачивается втулка, затем втулка в продольном направлении разрезается на сектора, из которых вытачиваются образцы надлежащей формы.

Образец с выточкой должен отвечать следующим требованиям:

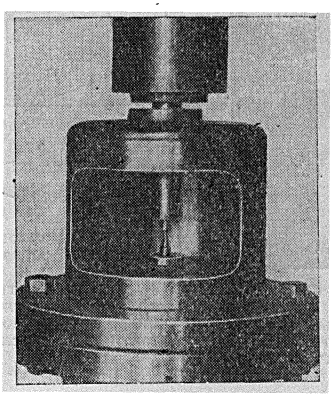
1. Биение по диаметру 2,3 $\pm 0{,}01$ и по диаметру $6^{+0{,}009}_{-0{,}001}$ при проверке в центрах должна быть не более 0,003 *мм*.

2. Глубина центров не должна превышать 2 *мм*.

3. Окончательная шлифовка — после термической обработки, шлифовать без ожогов.

4. Шероховатость поверхности выточки после полировки должна быть не ниже 10—11-го класса чистоты.

Сжатие образцов с выточкой в специальном приспособлении (фиг. 134) осуществляют методом непрерывного или ступенчатого нагружения. При ступенчатом нагружении увеличение нагрузки должно соответствовать приросту напряжения 25—30 *кГ/мм²* (для сталей, закаленных на высокую твердость). После



Фиг. 134. Приспособление для сжатия образцов с выточкой.

каждой ступени нагружения образец извлекается из приспособления и на инструментальном микроскопе измеряется диаметр в наименьшем сечении выточки.

Вычисление величин, характеризующих механические свойства, производится по формулам:

условное напряжение

$$\sigma = \frac{P}{F_0};$$

действительное напряжение

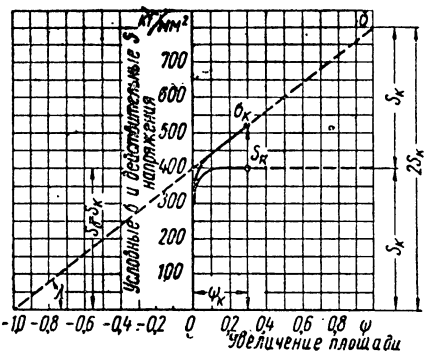
$$S = \frac{P}{F};$$

пластичность

$$\psi = \frac{F - F_0}{F_0},$$

где P — нагрузка в *кГ*; F_0 — исходное поперечное сечение образца в наименьшем сечении выточки; F — поперечное сечение после каждой ступени нагружения.

Типичная диаграмма локального сжатия закаленной стали, которая строится в результате ступенчатого нагружения, приведена на фиг. 135. Из этой диа-



Фиг. 135. Типичная диаграмма локального сжатия закаленной на высокую твердость стали.

граммы следует, что локальное сжатие приводит закаленную на высокую твердость сталь в состояние полной текучести, так как после небольшой деформации действительное напряжение S достигает предельного разрушающего давления $S_к$ и остается постоянным до разрушения образца.

При экстраполяции прямолинейного участка кривой σ, ψ влево на оси ординат отсекается отрезок, равный экстраполированному пределу текучести $S_0 = S_к$. Экстраполяция кривой σ, ψ вправо до пересечения с ординатой, соответствующей $\psi = 1$, дает отрезок, численно равный экстраполированному пределу прочности

$$\sigma' = 2S_0 = 2S_к.$$

При локальном сжатии сопротивление разрушению закаленной на высокую твердость подшипниковой стали достигает величины $S_к \approx 400$ *кг/мм²* а закаленные шарики разрушаются при напряжении $S_к \approx 820$ *кГ/см²*. Иными словами, удвоенная величина экстраполиро-

ванного предела текучести локального сжатия закаленной стали практически не отличается от величины разрушающего напряжения при сжатии закаленных шариков.

К геометрическим свойствам кривых локального сжатия относится и то, что прямая, пересекая абсциссу в точке $\psi = -1$, делает диаграмму лучевой и

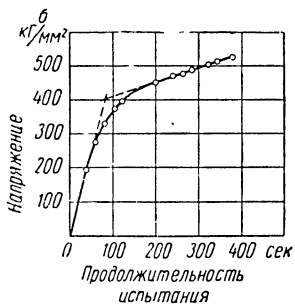
$$\sigma = S_0 (1 + \psi)$$

или

$$\sigma_к = S_0 (1 + \psi_к),$$

где $S_0 = \operatorname{tg} \lambda$; $\sigma_к$ — условное разрушающее напряжение; $\psi_к$ — предельная пластичность при разрушении образца.

При непрерывном сжатии образца с выточкой интенсивность приращения напряжения σ (или приращения нагрузки) в процессе пластического течения закаленной стали изменяется по закону кривой, приведенной на диаграмме фиг. 136. Кривая этой диаграммы удов-



Фиг. 136. Интенсивность приращения условных напряжений в процессе непрерывного нагружения при локальном сжатии закаленной подшипниковой стали.

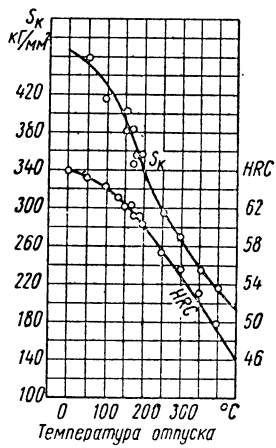
летворительно фиксируется двумя прямолинейными участками. Численно ордината точки пересечения прямых совпадает с величиной напряжения, равной экстраполированному пределу текучести S_0. Из результатов испытаний при непрерывном нагружении, зная $S_к$ и S_0, можно вывести, что

$$\psi_к = \frac{\sigma_к}{S_0} - 1$$

и построить схематизированную диаграмму локального сжатия закаленной стали.

Геометрические свойства диаграмм локального сжатия закаленных на высокую твердость сталей имеют такой же характер, как и геометрические свойства диаграмм растяжения пластичных материалов, дающих шейку на образце. Различие состоит в том, что при локальном сжатии экстраполируется кривая условных напряжений σ, а при растяжении — кривая действительных напряжений S.

При локальном сжатии сопротивление разрушению $S_к$ и твердость закаленной подшипниковой стали понижаются с повышением температуры отпуска по одному закону (фиг. 137).



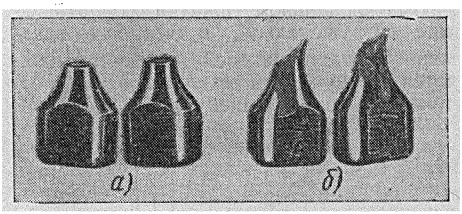
Фиг. 137. Сопротивление разрушению $S_к$ при локальном сжатии и твердость HRC закаленной подшипниковой стали в зависимости от температуры отпуска.

Следует заметить, что сжатие часто оказывается слишком мягким способом нагружения и недостаточно отчетливо выявляет изменения прочностных свойств закаленных сталей, вызываемые некоторыми структурными превращениями. В связи с этим испытания закаленных сталей следует проводить также и при более жестких способах нагружения, например при кручении.

Испытание на кручение образцов с выточкой

В отличие от сжатия, нагружение при кручении характеризуется коэффициентом $\alpha = 0{,}8$. Преимуществом метода кручения является возможность четкой дифференциации двух видов разрушения: среза — плоскость излома перпендикулярна оси образца (фиг. 138, *а*) и отрыва — излом по винтовой линии

(фиг. 138, *б*). Разрушение при кручении закаленных низкоотпущенных образцов с выточкой из подшипниковых сталей, как и при кручении гладких цилиндрических образцов, происходит путем среза и отрыва, причем величина сопротивления разрушению в большинстве случаев не зависит от вида излома.

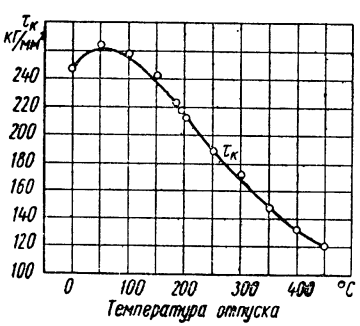


Фиг. 138. Изломы закаленных образцов с выточкой при испытании на кручение: *а* — вязкий излом; *б* — хрупкий излом.

Испытание образцов с выточкой на кручение (цилиндрические головки образцов должны иметь лыски) производится на машине с максимальным крутящим моментом 6 *кГ · см* с рабочей шкалой 1 *кГ · см*. Сопротивление разрушению $\tau_к$ подсчитывается по формуле

$$\tau_к = \frac{16\,M_к}{\pi D^3},$$

где $M_к$ — крутящий момент при разрушении образца в *кГмм*; D — диаметр образца в наименьшем сечении выточки.



Фиг. 139. Сопротивление разрушению $\tau_к$ при кручении закаленной подшипниковой стали в зависимости от температуры отпуска

Многочисленными опытами установлено, что при сжатии и кручении закаленных подшипниковых сталей получаются весьма устойчивые результаты; на каждый вариант исследования достаточно испытать 3—5 образцов с выточкой (фиг. 133).

В отличие от локального сжатия (фиг. 137) сопротивление разрушению $\tau_к$ при кручении закаленной подшипниковой стали, отпущенной при разных температурах, изменяется по закону кривой, приведенной на фиг. 139. Примерно по такому же закону изменяется сопротивление разрушению отпущенной при разных температурах подшипниковой стали при испытании на растяжение и изгиб образцов с выточкой.

Испытание на растяжение и изгиб образцов с выточкой

Линейное растяжение характеризуется коэффициентом $\alpha = 0{,}5$.

Для испытания на растяжение закаленных на высокую твердость сталей гладкие цилиндрические образцы не применяют, так как образцы из таких сталей часто разрушаются в головках при приложении сравнительно небольших нагрузок. К такому же заключению привели опыты советских [34], [35] и иностранных [36] исследователей.

Преждевременное разрушение при растяжении цилиндрических образцов из высокотвердых сталей объясняется влиянием концентраторов напряжений в галтелях и значительных закалочных напряжений, неравномерно распределяющихся по длине цилиндрического стержня. Поэтому для испытания закаленных подшипниковых сталей на растяжение рекомендуются образцы с выточкой (фиг. 133).

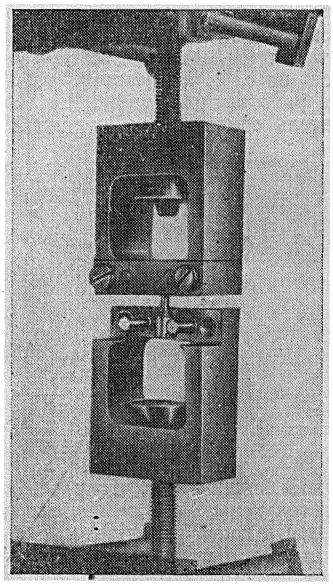
Испытание образцов с выточкой на растяжение производится на трехтонной машине специальными центрирующими захватами (фиг. 140). Сопротивление разрушению $\sigma_в$ определяется делением максимальной нагрузки на площадь наименьшего сечения образца.

На диаграмме фиг. 141 приведена кривая, характеризующая сопротивление разрушению $\sigma_в$ закаленной подшипниковой стали, отпущенной при разных температурах.

Наличие максимума на кривой $\sigma_в$ в зависимости от температуры отпуска объясняется тем, что при низких отпусках восходящая ветвь отражает сопротивление материала хрупкому разрушению путем отрыва, тогда как нисходящая ветвь кривой представляют собой со-

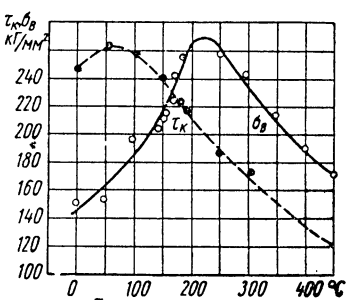
противление материала вязкому разрушению путем среза.

Из диаграммы следует, что ордината точки пересечения кривых $\sigma_в$ и $\tau_к$ соответствует одинаковым по абсолютной



Фиг. 140. Приспособление для испытаний на растяжение образцов с выточкой.

величине значениям вязкой при кручении и хрупкой при растяжении прочностям ($\sigma_в = \tau_к$) закаленной подшипниковой ста-



Фиг. 141. Сопротивление разрушению $\sigma_в$ при растяжении закаленной α подшипниковой стали в зависимости от температуры отпуска.

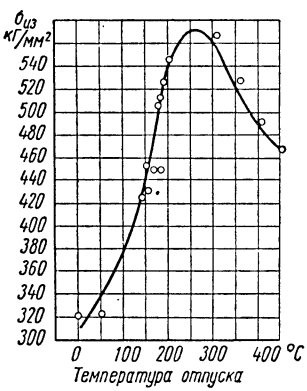
ли, отпущенной при температуре около 160°. По-видимому, сочетание одинаковых величин вязкой и хрупкой прочностей закаленной подшипниковой стали обусловливают наибольшую работоспособность деталей подшипников, так как эти детали после закалки подвергаются отпуску при температуре 150°.

Изгиб образцов с выточкой осуществляется посредством специального приспособления, в котором расстояние между опорами 16 *мм*. Сопротивление разрушению $\sigma_{из}$ при сосредоточенном изгибе подсчитывается по формуле

$$\sigma_{из} = \frac{Pl}{0{,}4\,D^3},$$

где P — нагрузка разрушения образца в *кГ*; l — расстояние между опорами (в данном случае $l = 16$ *мм*).

Для закаленной подшипниковой стали, отпущенной при разных температурах, кривая сопротивления разрушению $\sigma_{из}$ (фиг. 142) качественно не отличается



Фиг. 142. Сопротивление разрушению $\sigma_в$ при изгибе закаленной подшипниковой стали в зависимости от температуры отпуска.

от кривой $\sigma_в$ (фиг. 141), так как их максимумы практически соответствуют одной и той же температуре отпуска, но кривая $\sigma_{из}$ проходит выше, чем кривая $\sigma_в$. Это объясняется, с одной стороны, жесткостью формы образца по отношению к изгибающему усилию, а с другой, — неоднородностью напряженного состояния, изменяющегося от одноосного растяжения ($\alpha = 0{,}5$) до одноосного сжатия ($\alpha = 2$).

Анализ результатов многих работ свидетельствует о большом различии проч-

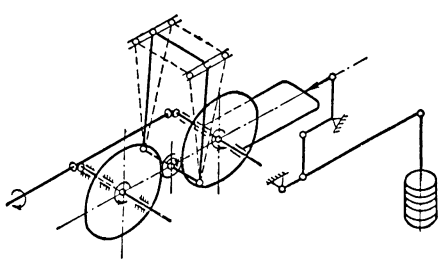
ностных свойств, полученных при изгибе разных по профилю образцов из одних и тех же высокопрочных сталей [34]. Поэтому целесообразно прочностные свойства закаленных сталей определять при растяжении образцов с выточкой, так как прочностные характеристики растяжения более стабильны, чем результаты испытаний на изгиб.

Анизотропия прочностных свойств закаленной низкоотпущенной подшипниковой стали более четко выявляется при растяжении. Установлено, что если для стали марки ШХ15, отпущенной при температуре 150°, сопротивление разрушению при сжатии, кручении, изгибе и растяжении образцов с выточкой, вырезанных вдоль прокатки, принять за единицу, то для образцов, вырезанных поперек прокатки, соответственно получим: 1; 0,95; 0,86; 0,77.

Испытание на контактную выносливость

Испытания закаленных подшипниковых сталей на контактную выносливость проводят на машинах МИД-4 и МКВ-К.

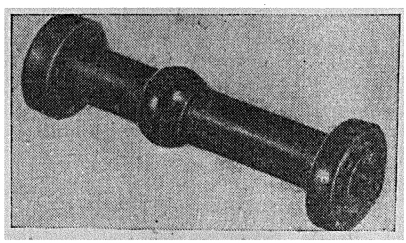
Испытание на машинах МИД-4. Принципиальная кинематическая схема машины МИД-4 конструкции С. В. Пинегина [37] приведена на фиг. 143. Крат-



Фиг. 143. Принципиальная схема машины МИД-4 конструкции С. В. Пинегина.

кое описание машины сводится к следующему.

Машина МИД-4 работает с двухцикличным нагружением за один оборот образца. Образец диаметром 15 *мм*, изображенный на фиг. 144, обкатывается между двумя цилиндрическими кольцами диаметром 150 *мм*. Диски на двух параллельных осях, расположенных в корпусах машины, вращаются со скоростью 1100 об/мин от электродвигателя 1,0 *квт*. При передаточном числе 1 : 10 образец обкатывается со скоростью 11 000 об/мин, что соответствует частоте нагружения 22 000 циклов в минуту. В качестве смазки применяется веретенное масло 3, которое подается на один из дисков. Каждые два диска служат для испытания нескольких образцов, причем каждый из последующих образцов обкатывается по свежим поверхностям цилиндрических дисков. Усталостное выкрашивание образца при испытании на машинах МИД-4 определяется на слух по резкому изменению шума работающей машины и электродвигатель отключается вручную.



Фиг. 144. Внешний вид образца для испытания на контактную выносливость на машине МИД-4.

Опыты показывают, что рассеяние результатов испытаний на контактную выносливость как и результатов испытаний подшипников на стендах, нередко достигает тридцатикратных значений. В связи с этим рекомендуют [38] среднюю стойкость N каждой партии образцов определять из условий логарифмически нормального закона распределения долговечности:

$$N = 10^{\frac{\Sigma \lg N_i}{n}},$$

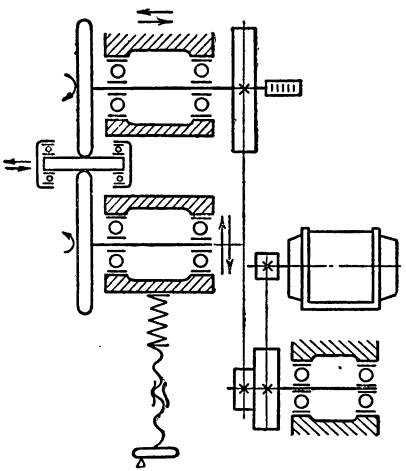
где n — количество опытов в данной серии испытания; $\Sigma \lg Ni = \lg N_1 + \lg N_2 + \lg N_3 + \ldots + \lg Ni$; N_1, N_2 N_3.... — стоимость каждого образца в данной серии опытов.

Длительность проведения опытов при испытании образцов на машинах МИД-4 в среднем достигает 200 час. В целях сокращения длительности проведения опытов на контактную выносливость изменены геометрические параметры образцов и создана новая машина МКВ-К (машина на контактную выносливость — консольная).

Испытания на машинах МКВ-К. Машина МКВ-К, работающая по принципу фрикционной передачи с двухцикличным нагружением за один оборот образ-

ца, спроектирована и изготовлена в ЭНИИППе. Принципиальная схема машины приведена на фиг. 145.

На машинах МКВ-К образцы различных конфигураций обкатываются между двумя дисками диаметром 148 *мм*

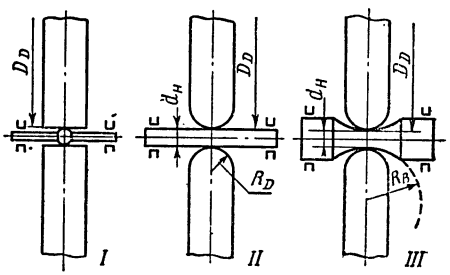


Фиг. 145. Схема машины МКВ-К для испытания материалов на контактную выносливость.

(фиг. 146). Принятые для испытания образцы вставляются в специальную скобу, которая прикреплена к корпусу машины. Скоба должна находиться в строго вертикальном положении; при изменении диаметра образца вертикальное положение скобы сохраняется перемещением ее на корпусе машины. Корпус ведущей оси диска жестко закреплен на плите машины. Корпус ведомой оси, на который прикладывается заданная нагрузка (максимальная нагрузка 150 *кГ*), расположен на шарнире. Этот корпус в целях регулировки соосности образца с дисками может перемещаться в горизонтальном и осевом направлениях; соосность проверяется специальным шаблоном. Ведомый диск вращается со скоростью от 250 до 400 об/мин от электродвигателя 0,5 *квт*. Проскальзывание дисков и образца при передаточном числе 1 : 64, даже при небольшой нагрузке — 5 *кГ*, не превышает 0,25% (практически чистое качение). В качестве смазки служит веретенное масло 3, подаваемое на рабочую поверхность диска фитилем. Число циклов нагружений до усталостного выкрашивания образца регистрируется счетчиком оборотов, соединенным с ведущей осью машины.

На машинах МКВ-К, впервые в технике проведения опытов на контактную выносливость, усталостное выкрашивание образца фиксируется электронным автоматическим выключателем, схема которого была разработана в ЭНИИППе. Описание устройства электронного автоматического выключателя можно найти в печати [39].

Для проведения опытов на контактную выносливость максимальное напряжение σ_{max} на площадке контакта подсчитывается по известным формулам Беляева-Герца. Однако более характер-



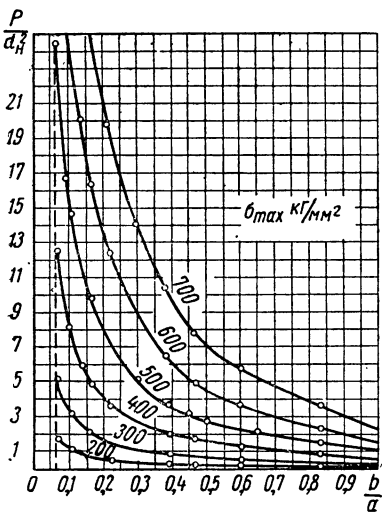
Фиг. 146. Системы соприкасающихся тел при испытании образцов на контактную выносливость: *I* — образец сферической формы; *II* — цилиндрический образец; *III* — образец с выточкой.

ным показателем грузоподъемности соприкасающихся тел является не максимальное напряжение на площадке контакта, а условное напряжение, отнесенное к диаметральному сечению наименьшей детали, т. е. коэффициент статической нагруженности $\frac{P}{d_н^2}$, где P — нагрузка в *кГ*; $d_н$ — диаметр наименьшей детали в данной системе соприкасающихся тел.

Для однорядных шариковых подшипников всех типоразмеров коэффициент статической грузоподъемности $\frac{P}{zd_ш^2}=\text{const}$ (z — количество и $d_ш$ — диаметр шариков в подшипнике), что хорошо согласуется с известным законом подобия.

Условия закона подобия геометрических тел должны выполняться и при испытании на контактную выносливость образцов, приведенных на схеме фиг. 146, так как сопротивляемость материала в зоне контакта зависит от геометрической формы поверхности давления. Поэтому при разных величинах контакт-

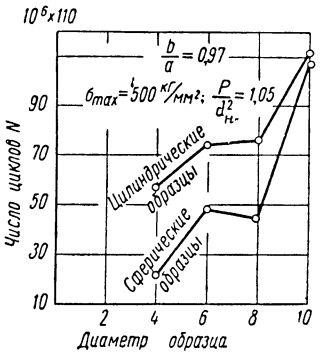
ных напряжений σ_{max} коэффициенты статической нагруженности $\frac{P}{d_н^2}$ в зависимости от соотношений $\frac{b}{a}$ (b — малая и a — большая полуоси эллиптической площадки контакта) изменяются по закону кривых, приведенных на диаграмме фиг. 147.



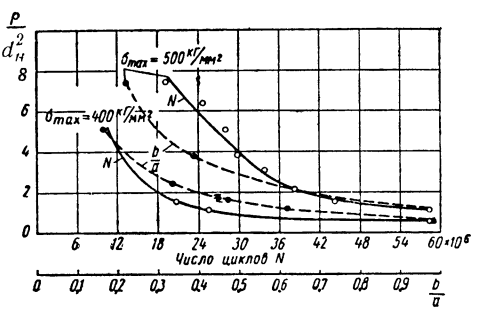
Фиг. 147. Зависимость между коэффициентами нагруженности $\frac{P}{d_н^2}$ и соотношениями геометрических параметров $\frac{b}{a}$ поверхностей давления соприкасающихся тел, показанных на фиг. 146, при разных контактных напряжениях σ_{max}.

Обычно испытания закаленной подшипниковой стали на контактную выносливость проводятся при напряжениях σ_{max} от 300 до 500 *кГ/мм*², т. е. в пределах напряжений, принимаемых в формулах для расчета шариковых подшипников. Из диаграммы следует, что чем выше напряжение σ_{max}, тем резче изменяется величина $\frac{P}{d_н^2}$ в P зависимости от $\frac{b}{a}$. Следовательно, для напряжений σ_{max} в пределах 300—500 *кг/мм*² можно подобрать такие геометрические параметры поверхностей соприкасающихся тел, при которых контактная выносливость образца будет уменьшаться или увеличиваться, т. е. будет уменьшаться или увеличиваться длительность проведения опытов.

В системе соприкасающихся тел, изображенных на фиг. 146, при $\sigma_{max} = \text{const}$ для соотношений $\frac{b}{a} = 1$ (круговые контактные площадки) коэффициент нагруженности $\frac{P}{d_н^2} \approx \text{const}$ и не зависит от диаметра $d_н$ поперечного сечения образ-



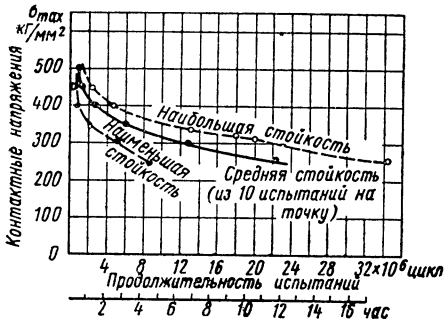
Фиг. 148. Влияние диаметра поперечного сечения образца на длительность проведения опытов при испытании на контактную выносливость.



Фиг. 149. Кривые, характеризующие одну и ту же закономерность между контактной выносливостью N подшипниковой стали, коэффициентом нагруженности $\frac{P}{d_н^2}$ и соотношением геометрических параметров $\frac{b}{a}$ поверхностей давления соприкасающихся тел.

ца. Для круговых контактных площадок при постоянных величинах σ_{max} и $\frac{P}{d_н^2}$ контактная выносливость уменьшается с уменьшением диаметра образца.

На диаграмме фиг. 148 видно, что для сокращения длительности проведения опытов на контактную выносливость необходимо уменьшать диаметр поперечного сечения образца.



Фиг. 150. Контактная выносливость закаленной подшипниковой стали (твердость *HRC* 62—63) при испытании образцов с выточкой в зависимости от контактных напряжений σ_{max}: *1* — наибольшая стойкость; *2* — средняя стойкость (из десяти испытаний на точку); *3* — наименьшая стойкость.

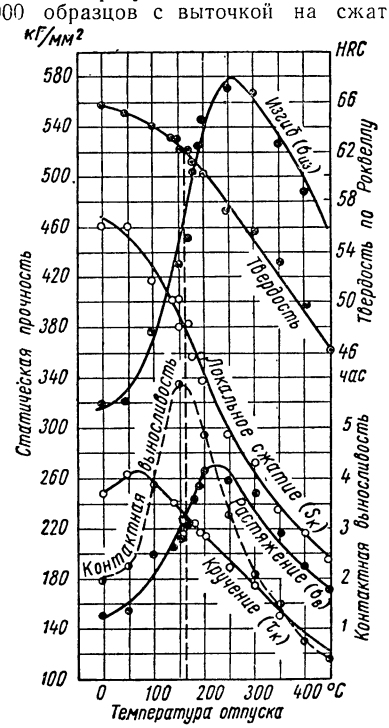
В общем ход кривых контактной выносливости N в зависимости от коэффициентов статической нагруженности $\frac{P}{d_н^2}$ и геометрических параметров $\frac{b}{a}$ площадок контакта изменяется по одному и тому же закону (фиг. 149) и согласуется с ходом кривых, приведенных на диаграмме (фиг. 147).

Таким образом, длительность проведения опытов на контактную выносливость может быть сокращена изменением геометрических параметров конструкции образца, а именно: при уменьшении поперечного сечения образца в зоне контакта и при уменьшении коэффициента соотношения $\frac{b}{a}$. В совокупности эти параметры выдержаны в конструкции образца, изображенного на фиг. 133. При контакте такого образца с дисками диаметром 148 *мм* с рабочей поверхностью радиусом 5 *мм* (отношение $\frac{b}{a}$ примерно 0,16) контактная выносливость закаленной подшипниковой стали в зависимости от σ_{max} изменяется по закону кривых, приведенных на диаграмме (фиг. 150).

Из диаграммы следует: если за базу выносливости принять $10 \cdot 10^6$ циклов нагружений, то испытания закаленных образцов с выточкой (фиг. 133) необходимо проводить при напряжении $\sigma_{max} = 300 \div 350$ *кГ/мм²*. Опыты показали, что при таких напряжениях длительность проведения опытов на контактную выносливость закаленных образцов с выточкой (*HRC* 62—64) сокращается в 20—25 раз по сравнению с испытаниями образцов (см. фиг. 140) на машинах МИД-4.

Статическая прочность и контактная выносливость закаленной подшипниковой стали в зависимости от температуры отпуска

Диаграмма на фиг. 151 построена на основании результатов испытаний около 1000 образцов с выточкой на сжатие,



Фиг. 151. Твердость, статическая прочность и контактная выносливость закаленной стали марки ШХ15 в зависимости от температуры отпуска (кривые построены в результате испытаний образцов с выточкой: *1* — изгиб $\sigma_{из}$; *2* — твердость *HRC*; *3* — локальное сжатие $S_к$; *4* — контактная выносливость N; *5* — растяжение $\sigma_в$; *6* — кручение $\tau_к$.

кручение и растяжение, изгиб и контактную выносливость (пунктирная кривая). Из этой диаграммы следует, что для закаленной подшипниковой стали, отпущенной при разных температурах, между контактной выносливостью и статическими прочностями нет прямой связи. Наибольшая стойкость у образцов, отпущенных примерно при температуре 160°, иными словами, образцам с одинаковыми по абсолютной величине вязкой прочности $\tau_к$ и хрупкой прочности $\sigma_в$, соответствует наибольшая контактная выносливость материала, твердость которого достигает *HRC* 62 (пунктирная ордината). Для стали, отпущенной при температурах меньше или больше 150—160°, контактная выносливость понижается (левая и правая ниспадающие ветви кривой).

Таким образом, при качении соприкасающихся тел наибольшей контактной выносливостью обладает сталь, термически обработанная на твердость *HRC* 62—63. Такую же твердость имеют большинство деталей подшипников качения.

Следовательно, предварительными характеристиками механических свойств закаленных подшипниковых сталей являются твердость и оптимальное сочетание вязкой и хрупкой прочностей, измеряемых при параллельных испытаниях на кручение и растяжение образцов с выточкой. Основным же видом испытания закаленных подшипниковых сталей нужно считать опыты на контактную выносливость.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Tofaute Sponherer, Bennek, «Archiv», für die Eisenhütteuwesen, т. 8, 1935.
2. Раузин Я. Р., Термическая обработка хромистой стали, Машгиз, 1959.
3. Ефремов И. Н., «Заводская лаборатория» № 3, 1952.
4. Шейн А. С., «Подшипник» № 8, 1953.
5. Минкевич Н. А., Паисов Н. В., Геллер Ю. Н. Труды МИ им. Сталина, вып. 18, 1940.
6. Дворянов П. А., «Подшипник» № 5, 1953.
7. Шейн А. С. и Горшкова В. Ф., «Подшипник» № 11, 1952.
8. Металловедение и термическая обработка, справ., Металлургиздат, 1956.
9. Просвирин В. И. и Энтин С. Д., Изотермическое образование мартенсита, Машгиз, 1953.
10. Геллер Ю. А., инструментальные стали, Машгиз, 1955.
11. Гудцов Н. Т., Кузьмина О., «Сообщения Ленинградского института металлов», вып. 14, 1933.
12. Лагунцов И. Н. и Шейн А. С., «Подшипник» № 4, 1952.
13. Andrew, Ficker, Robertson «Iournal Roual Techn. Collede» № 2, 1925.
14. Heindelhofer, a Wright, Tast T. 7, 1925.
15. Кудрявцев И. В., «Вестник металлопромышленности» 10—11, 1930.
16. Гуляев А. П., Советинова В. М., Зельбет Б. М., Сб. «Термическая обработка деталей и инструмента из стали ШХ15», Машгиз, 1951.
17. Шейн А. С., «Подшипник» № 4, 1953.
18. Селисский Я. П. и Шейн А. С., «Вестник машиностроения» № 2, 1947.
19. Либерман Э. Н., «Подшипник» № 12, 1939.
20. Шейн А. С., Башкиров Б. М., Царева А. А., Термическая обработка высокоуглеродистой хромистой нержавеющей стали, ИТЭИН, тема 5, 1956.
21. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. 3, Машгиз, 1948.
22. Шейн А. С., «Металловедение и обработка металлов» № 12, 1957.
23. Чириков В. Т., Теория и практика цементации и цианирования. Сб. Дома инженера и техника им. Дзержинского, Машгиз, М., 1954.
24. Чириков В. Т., Коньшина Л. М., Оптимальные режимы цементации необработанными природными газами, Сб. № 17 «Технология подшипникостроения», ЭНИИПП, М. 1958.
25. Чириков В. Т., Маловицкая В. И., Харитонова М. С. Термическая обработка цементованных деталей из стали 20Х2Н4А. Сб. № 17, «Технология подшипникостроения», ЭНИИПП, М. 1958
26. Чириков В. Т., Анализ современных цементационных печей и цементующих газов. Сб. № 12 «Технология подшипникостроения», ЭНИИПП, М. 1957.
27. Фридман Я. Б., Механические свойства металлов, Оборонгиз, 1952.
28. Шапошников Н. А., Механические испытания металлов, Машгиз, 1954
29. Stribeck R., Zeitchrift V. D. I. 1901.
30. Зайцев Г. П., Журнал технической физики, т. 19, вып. 3, 1949.
31. Сахонько И. М., Труды ЭНИИПП, сб. № 1, 1960
32. Cowedreu I., PASTM, 30, 1930.
33. Грозин Б. Д., Механические свойства закаленной стали, Машгиз, 1951.
34. Фридман Я. Б. и Коноплепко В. П., «Металловедение и обработка металла» № 12, 1958.
35. Геллер Ю. А., «Заводская лаборатория» № 5, 1955.
36. Dgaccone c Portalunl. La rivista. Riv. t, II, Nov. 1954.
37. Пинегин С. В., Работоспособность деталей подшипников, Машгиз, 1949.
38. Контер Л. Я., Труды ЭНИИПП, сб. № 1, 1950.
39. Спришевский А. И., «Заводская лаборатория» № 9, 1959.

Глава XVI

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

В зависимости от габаритов и геометрической формы колец подшипников применяют различные методы получения кольцевых заготовок. В отечественной подшипниковой промышленности область применения того или иного метода и удельный вес потребляемого при этом металла характеризуется данными, приведенными в табл. 1.

1. Удельный расход металла при различных методах изготовления кольцевых заготовок

Метод изготовления заготовок колец подшипников	Удельный расход в % к потребности металла для изготовления колец
Штамповка на ГКМ в пуансоне	22,8
Штамповка на ГКМ в матрицах	4,3
Штамповка на ГКМ с последующей раскаткой	27,6
Штамповка на молотах	1,4
Свободная ковка на молотах	1,7
Свободная ковка на молотах с последующей раскаткой (крупногабаритные кольца)	2,3
Полугорячая калибровка из поковок и трубных заготовок	2,7
Холодная штамповка из полосовой стали	2,6
Вытачивание из прутков	6,2
Вытачивание из труб	28,4

Из таблицы видно, что около 55% металла, идущего на изготовление колец, проходит обработку на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).

Вторым наиболее распространенным и перспективным является метод вытачивания колец из труб.

Штамповка кольцевых заготовок на молотах, а также вытачивание колец из прутка не имеют перспектив для развития.

Свободная ковка, применяющаяся сравнительно мало, не утратит своего значения, являясь целесообразным методом для изготовления заготовок колец крупногабаритных подшипников, выпускаемых, как правило, в индивидуальном порядке, или мелкими сериями.

Технический прогресс в области технологии производства заготовок для подшипникостроения пойдет по линии дальнейшего расширения таких перспективных методов, как профильная раскатка, полугорячая калибровка, холодная объемная штамповка обеспечивающих высокую точность заготовок и максимальное приближение их формы к форме готовых деталей при минимальных потерях металла в процессе изготовления. При этом процессы штамповки кольцевых заготовок на ГКМ и их свободная ковка перейдут в значительной степени в разряд промежуточных заготовительных операций наряду с такими, как отрезка трубных заготовок для последующей раскатки или калибровки.

В табл. 2 приведена маршрутная технология изготовления штампованных и кованых заготовок методами, применяемыми в отечественной подшипниковой промышленности.

МЕТАЛЛ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Основные виды исходного металла для производства заготовок колец приведены в табл. 3, а размеры исходного металла и технические условия на его поставку в табл. 4—7.

2. Маршрутная технология изготовления штампованных и кованых заготовок колец подшипников

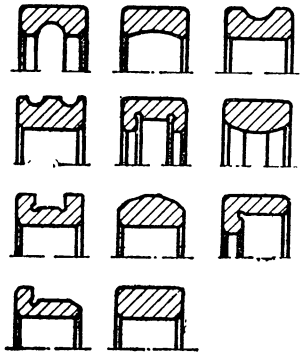
Методы получения заготовок	Исходный металл	Технологические операции и оборудование								
Штамповка на ГКМ	Пруток горячекатаный круглого сечения	Нагрев в печи	Штамповка на ГКМ	Зачистка заусенцев на наждачном точиле	Отжиг в печи	Удаление окалины в барабане				для дальнейшей обработки резанием
Штамповка на ГКМ с раскаткой					Нагрев в печи	Раскатка на раскаточной машине	Отжиг в печи	Удаление окалины в барабане		
Штамповка на ГКМ с полугорячей калибровкой					Отжиг в печи	Удаление окалины и смазка в барабане	Нагрев в печи	Полугорячая калибровка на прессе		
Штамповка на молотах			Резка на пресс-ножницах	Нагрев в печи	Штамповка на молоте	Обрезка заусенцев на прессе	Прошивка на прессе	Отжиг в печи	Удаление окалины в барабане	

Продолжение табл. 2

Методы получения заготовок	Исходный металл	Технологические операции и оборудование												
Свободная ковка	Прутки и блюмсы круглого и квадратного сечения	Разметка исходного металла по длине заготовки	Надрезка автогеном	Нагрев в печи	Рубка на молоте или холодная ломка на прессе	Нагрев в печи	Ковка на молоте	Нагрев в печи	Раздача на оправке на молоте	Правка на молоте	Отжиг в печи			
Свободная ковка с раскаткой	Прутки и блюмсы круглого и квадратного сечения	Разметка исходного металла по длине заготовки	Надрезка автогеном	Нагрев в печи	Рубка на молоте или холодная ломка на прессе	Нагрев в печи	Ковка на молоте	Нагрев в печи	Раздача на оправке на молоте	Правка на молоте	Нагрев в печи	Раскатка на раскаточной машине	Отжиг в печи	
Холодная штамповка	Полоса горячекатаная	Сортировка полос на две группы по толщине	Вырубка и пробивка заготовочных шайб на прессе	Отжиг в печи	Удаление окалины и смазка в барабане	Вывертывание шайб на прессе	Объемная штамповка на прессе							

Заготовки поступают в цехи

3. Металл, применяемый для производства колец

Конструкции колец	Наружный диаметр колец в *мм*	Исходный металл: Вид и профиль	Исходный металл: Размеры в *мм*	Марка	ГОСТ: ТУ	ГОСТ: Сортамент	Методы получения заготовок колец
	До 34	Прутки холоднотянутые круглого сечения	До 35	ШХ15	801-60	7417-57	Вытачивание
	26—80	Прутки горячекатаные отожженные круглого сечения	До 85			1133-41	
	31—89	Трубы холоднокатаные необточенные	32—90		801-60 800-55	800-55	
	60—180	Трубы горячекатаные обточенные	60—181				
	50—200	Прутки горячекатаные неотожженные круглого сечения	До 150	ШХ15 ШХ15СГ	801-60	1133-41	Штамповка на ГКМ в пуансоне и матрице
	80—300						Штамповка на ГКМ с последующей раскаткой
	До 700	Прутки и блюмсы горячекатаные неотожженные круглого и квадратного сечения	Круг до 180				Свободная ковка с последующей раскаткой
	До 1200		Квадрат 100—200 210—400			4693-57 4692-57	Свободная ковка
	До 250	Прутки горячекатаные неотожженные круглого сечения	До 180			1133-41	Штамповка на молотах

Продолжение табл. 3

Конструкции колец	Наружный диаметр колец в *мм*	Исходный металл: Вид и профиль	Исходный металл: Размеры в *мм*	Марка	ГОСТ: ТУ	ГОСТ: Сортамент	Методы получения заготовок колец
	40—130	Полоса горячекатаная отожженная	6—12	18ХГТ	Минчермет 898-48	103-57	Холодная штамповка
	50—200	Прутки горячекатаные неотожженные круглого сечения	До 150	ШХ15	801-60	1133-41	Штамповка на ГКМ
	80—300						Штамповка на ГКМ с последующей раскаткой
	100—200						Штамповка на ГКМ с последующей горячей калибровкой
	80—180	Трубы горячекатаные обточенные	До 181			800-55	Точение с последующей горячей калибровкой
	До 700	Прутки и блюмсы горячекатаные неотожженные круглого и квадратного сечения	Круг до 180	ШХ15 ШХ15СГ		1133-41	1. Свободная ковка с последующей раскаткой
	До 1200		Квадрат 100—200 210—400			4693-57 4692-57	2. Свободная ковка
	До 250	Прутки горячекатаные неотожженные круглого сечения	До 180			1133-41	Штамповка на молотах
	До 40	Прутки горячекатаные отожженные круглого сечения	До 42	ШХ15			Вытачивание
	50—100	Полоса горячекатаная	6—12	18ХГТ	Минчермет 898-48	103-57	Холодная штамповка

Продолжение табл. 3

Конструкции колец	Наружный диаметр колец в *мм*	Исходный металл: Вид и профиль	Исходный металл: Размеры в *мм*	Марка	ГОСТ: ТУ	ГОСТ: Сортамент	Методы получения заготовок колец
	40—200	Прутки горячекатаные неотожженные	До 150	ШХ15	801-60	1133-41	Штамповка на ГКМ в пуансоне и матрице
	120—1200	Прутки и блюмсы горячекатаные неотожженные круглого и квадратного сечения	Круг до 180	ШХ15		4693-57 4692-57	1. Свободная ковка 2. Свободная ковка с последующей раскаткой
			Квадрат 100—200 210—400	ШХ15СГ			
	До 250	Прутки горячекатаные неотожженные круглого сечения	До 180			1133-41	Штамповка на молотах
	До 90	Трубы холоднокатаные необточенные	До 90	ШХ15		800-60	Вытачивание
	60—180	Трубы горячекатаные обточенные	60—181				
	До 80	Горячекатаные прутки отожженные круглого сечения	До 82			1133-41	
	До 1200	Прутки и блюмсы горячекатаные неотожженные круглого и квадратного сечения	Круг до 180	ШХ15 ШХ15СГ		1133-41 4693-57 4692-57	Свободная ковка
			Квадрат 100—200 210—400				
	50—250	Прутки горячекатаные неотожженные круглого сечения	До 180			1133-41	Штамповка на молотах

4. Горячекатаная неотожженная и отожженная сталь ШХ15 и ШХ15СГ (ГОСТ 1133-41)

Размеры в *мм*

Размеры круга, стороны квадрата	Допускаемые отклонения	Размеры круга, стороны квадрата	Допускаемые отклонения	Размеры круга, стороны квадрата	Допускаемые отклонения	Размеры круга, стороны квадрата	Допускаемые отклонения
25		35	+1,2	60		100	+2,5
26		38		65	+1,6	110	+2,6
27	+0,9	40		70		115	
28		42		75	+1,8	120	
30		45	+1,3	80		130	+3,2
31	+1,0	48		85	+2,0		
32	+1,1	50	+1,4	90		140	+3,5
33	+1,2	52		95	+2,2	150	
		55	+1,6			160	+4,0

5. Горячекатаная неотожженная сталь

Размеры в *мм*

Размеры стороны квадрата	Допускаемые отклонения	ГОСТ	Размеры стороны квадрата	Допускаемые отклонения	ГОСТ	Размеры стороны квадрата	Допускаемые отклонения	ГОСТ
95	+1,8		160	+3,0		250	± 7,0	
100	−3,0		170 180	−5,0	4693-57	260	± 8,0	
115	+2,0	4693-57	200	+4,0		280 300		4692-57
120	−3,5			−6,0				
130	+2,4		210	±6,0		360	±10,0	
140	−4,0		220		4692-57	400		
150			240	±7,0				

6. Сталь прокатная полосовая 18ХГТ (по ГОСТ 103-57)

Размеры в *мм*

Ширина	Толщина	Допускаемые отклонения		Ширина	Толщина	Допускаемые отклонения	
		по толщине	по ширине			по толщине	по ширине
70	7		+0,5 −1,4	110	10		+1,0 −2,2
100	8	+0,2 −0,5	+1,0 −2,0	120	10	+0,2 −0,5	+1,1 −2,4

7. Технические условия

Основные данные	Горячекатаная сталь		
	Неотожженная		
	ГОСТ 1133-41	ГОСТ 4693-57	ГОСТ 4692-57
Размеры по длине в *м*	2,1—4,0	1—6	1—4
Допускаемые отклонения по толщине стенки	—	—	—
Овальность	75% от допуска на диаметр	—	
Разность двух любых сторон квадрата	—	50% от допуска на размер стороны квадрата	
Гранность в *мм*	—	—	—
Волнистость	—	—	—
Кривизна в *мм* на 1 пог. *м*	6,0	—	—
Твердость по Бринелю	—	—	—
Диаметр отпечатка	—	—	—
Глубина обезуглероженного слоя в *мм*: по наружной поверхности	0,5—1,5 для размеров 25—150	—	—
по внутренней поверхности	—	—	—

на поставку металла

	Трубы ГОСТ 800-55			
Отожженная ГОСТ 1133-41	Горячекатаные отожженные обточенные	Холоднокатаные неотожженные необточенные	Холоднотянутая сталь отожженная ГОСТ 7417-57	Горячекатаная полосовая сталь ГОСТ 103-57
2,0—4,0	1—5	1—5	3—4,5	3—9
—	+15 %	+15 %	—	См. табл. 6
75 % от допуска на диаметр	0,2	0,5	В пределах допуска на диаметр	—
—	—	—	—	—
—	0,2	0,5	—	—
—	—	0,3 *мм* на длине 300 *мм*	не допускается	—
4,0	1,0	1,0	1,0	Ребровидная кривизна (серповидность) 3—5
170—207	179—207	269	170—207	—
4,2—4,6	4,2—4,6	3,7	4,2—4,6	—
0,5—1,25 для размеров 25—100	Не допускается	0,3	1% от диаметра	—
—	0,7	0,3	—	—

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК

Размеры заготовок в зависимости от методов их изготовления определяют по формулам, приведенным в табл. 8.

Припуски на механическую обработку колец подшипников. Заготовки подшипниковых колец подвергаются механической обработке. Величина припуска, необходимая для удаления слоя металла с поверхности заготовки в процессе ее

8. Формулы для определения размеров заготовок

Размеры в *мм*

Метод изготовления	Наружный диаметр	Допускаемые отклонения	Внутренний диаметр	Допускаемые отклонения	Высота	Допускаемые отклонения
Штамповка в пуансоне на ГКМ и последующая раскатка	$D_з = (D+n)$	$+\Delta$	$d_з = (d-n)$	$-\Delta$	$H_з = (H+n)$	$+\Delta$
Свободная ковка и последующая раскатка		$\pm\Delta$		$\pm\Delta$		$\pm\Delta$
Штамповка на молотах						
Холодная штамповка и горячая калибровка		$+\Delta$	$d_з = (d-2\,a\operatorname{tg}\alpha) - n$	$-\Delta$		$+\Delta$
Из прутков: горячекатаных	$D_{пр} = (D+n)$	$+\Delta$	—	—	—	—
холоднотянутых		$-\Delta$	—	—	—	—
Из труб	$D_{тр} = (D+n)$	$+\Delta$	$d_{тр} = (d-n)$	—	—	—

В формулах приняты следующие обозначения:

$D_з$ — наружный диаметр заготовки в *мм*;

$d_з$ — внутренний диаметр заготовки в *мм*;

$H_з$ — высота заготовки в *мм*;

D — наружный диаметр готового кольца в *мм*;

d — внутренний диаметр готового кольца в *мм*;

$D_{тр}$ — диаметр трубы в *мм*;

$D_{пр}$ — диаметр прутка в *мм*;

n — припуск в *мм*;

Δ — допускаемое отклонение в *мм*;

a — припуск в *мм* на механическую обработку широкого торца конических колец, равный 0,8 ÷ 0,9 *мм*;

α — угол конуса отверстия наружного кольца конического подшипника.

обработки, слагается из ряда элементов, значения которых приведены в табл. 9.

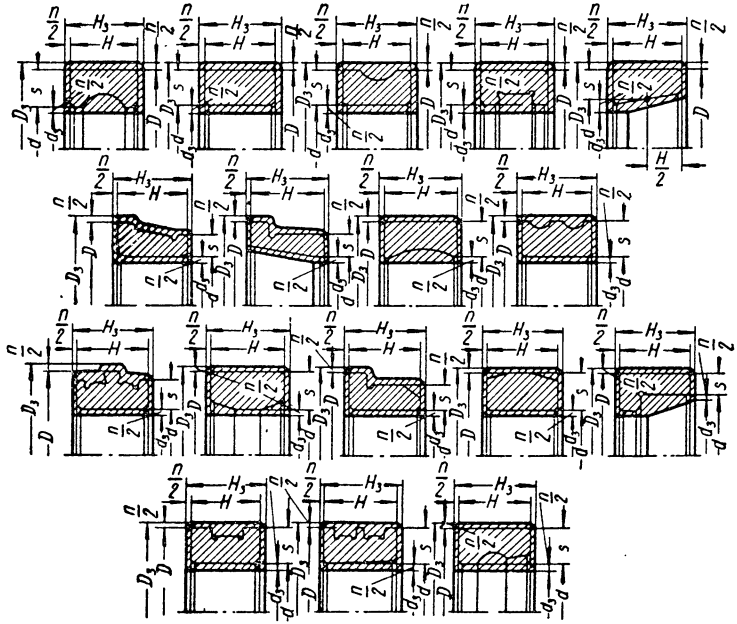
В подшипниковой промышленности, применительно к существующему уровню технологии производства заготовок, в зависимости от факторов, влияющих на величину припуска: исходного металла (размеры, качество), методов обработки, конфигурации, размеров и степени жесткости колец подшипников (отношение высоты кольца к толщине стенки $\frac{H}{s}$), установлены припуски, приведенные в табл. 10—15.

9. Величины элементов припуска на диаметр

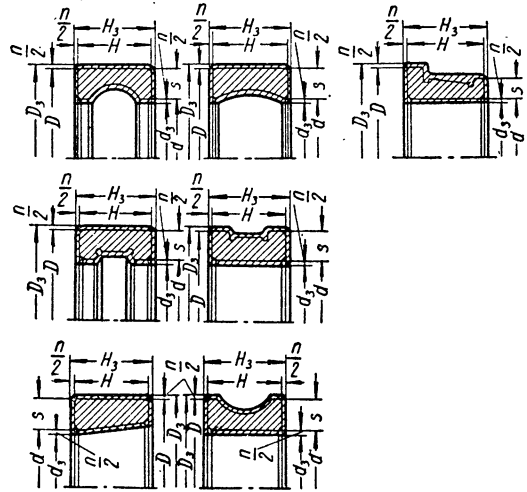
Размеры в *мм*

Элементы припуска	Заготовки		Прутки		Трубы	
	штампованные	раскатанные	горячекатаные	холоднотянутые	горячекатаные	холоднокатаные
На удаление обезуглероженного слоя, имеющегося на исходном металле и на заготовках, возникающего при нагреве их под штамповку и при последующем отжиге	На наружной и торцовой поверхностях 0,4—2,2; на внутренней поверхности 1,2—1,0	На наружной и торцовой поверхностях 0,4—2,2; на внутренней поверхности 0,2—1,0	1,5—2,0	1% от диаметра	На внутренней поверхности 1,4	На наружной поверхности 0,6; на внутренней 0,6
На обточку заготовок для удаления местных дефектов с ее поверхности (раковины от окалины, вмятины и т. п.)	1,0—2,0	1,0—2,0	—	—	—	—
На компенсацию неточности токарной обработки (биение шпинделей, неправильное центрирование в патроне станка при установке заготовок, неточность зажимных цанг)	0,5—0,8	0,5—0,8	0,1—0,2	0,1—0,2	0,1—0,2	0,1—0,2
Съем металла для устранения погрешностей геометрической формы заготовок (разностенность, овальность и т. п.)	30% от припуска на токарную обработку	15% от припуска на токарную обработку	—	—	—	—
Допуск на токарную обработку	0,2—0,3	0,2—0,3	0,1—0,2	0,1—0,2	0,1—0,3	0,1—0,2
Припуск на шлифование после термической обработки (закалки)	0,3—0,6	0,3—0,6	0,15—0,2	0,1—0,15	0,2—0,4	0,15—0,20

10. Припуски (минимальные) на механическую обработку и допуски на размеры заготовок, изготовляемых методом штамповки в пуансоне на ГКМ и последующей раскатки, в *мм*



Формы заготовок, штампуемых на ГКМ



Формы раскатанных заготовок

На наружный диаметр

Наружный диаметр готовых колец D в *мм*		$\frac{H}{s} \leqslant 3{,}5$			$3{,}5 < \frac{H}{s} \leqslant 5$			$5 < \frac{H}{s} \leqslant 7$			Раскатанные заготовки		
		Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ
		Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи	
Свыше	До	Припуск n			Припуск n			Припуск n			Припуск n		
—	50	3,0	3,0	+1,0	3,5	3,5	+1,0	4,0	3,5	+1,5	—	—	+1,0
50	80	3,5			4,0		+1,5	4,5	4,0				
80	120	4,0	3,5	+1,5		4,0		5,0	4,5	+2,0	3,0	3,0	+1,5
120	150				4,5		+2,0				3,5		
150	180	4,5	4,0		5,0	4,5		5,5	5,0		4,0	3,5	+2,0
180	220	5,0	4,5	+2,0		5,0			5,5		4,5	4,0	
220	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	4,5	
250	300	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

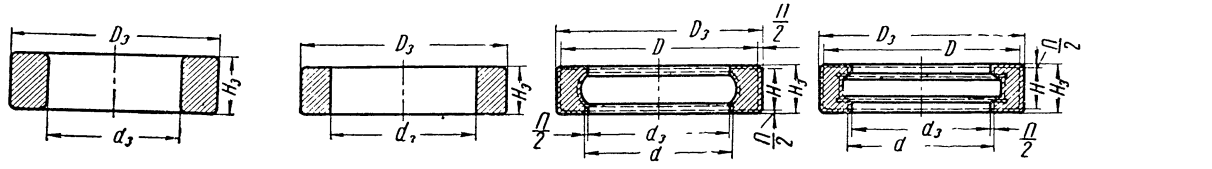
На внутренний диаметр

Внутренний диаметр готовых колец в *мм*													
От	До												
—	50	3,0	3,0	−1,0	3,5	3,5	−1,0	3,5	3,5	−1,0	—		−1,0
50	80							4,0	4,0				
80	120	3,5	3,5		4,0	4,0		4,5	4,5	−1,5	3,0	3,0	−1,5
120	150		4,0	−1,5		4,5	−1,5		5,0				
150	180	4,0	4,5		4,5	5,0		5,0	5,5	−2,0		3,5	

На высоту

Наружный диаметр готовых колец D		$\frac{H}{s} < 3{,}5$ и $3{,}5 < \frac{H}{s} \leqslant 5$		$5 < \frac{H}{s} \leqslant 7$		Раскатанные заготовки	
Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ
—	50	3,0	+1,0	3,5	+1,5	3,0	+1,0
50	80	3,5	+1,5	4,0			+1,5
80	120			4,5	+2,0	3,5	+2,0
120	150	4,0	+2,0	5,0		4,0	
150	180	4,5		5,5		4,5	
180	220					5,0	
220	250	—	—	—	—	5,5	
250	300	—	—	—	—		

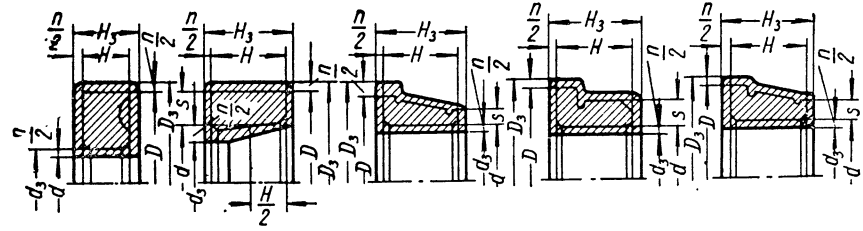
11. Припуски на механическую обработку и допуски на размеры заготовок, изготовляемых методом свободной ковки и последующей раскатки, в *мм*



Свободная ковка — Раскатанные заготовки

Внутренний диаметр готовых колец d		Свободная ковка		Раскатанная заготовка		Наружный диаметр готовых колец		Свободная ковка				Раскатанная заготовка			
		На внутренний диаметр						На наружный диаметр		На высоту		На наружный диаметр		На высоту	
Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ
180	200	9,0	+2,0 −4,0	5,0	0 −5,0	250	300	11,0	+5,0 −3,0	9,0	+2,0 −3,0	6,5	+3,0 0	6,5	+3,0 0
200	250		+3,0 −6,0	6,0	0 −6,0	300	350	12,0		10,0	+3,0 −4,0	7,0			+4,0 0
250	300	10,0		7,0	0 −7,0	350	400	14,0	+7,0 −4,0	11,0		+7,5	+4,0 0	7,5	
300	350	11		7,5	0 −7,5	400	450	16,0		12,0		8,0	+5,0 0	8,5	
350	400	13	+4,0 −8,0	8,0	0 −8,0	450	500								
400	450	14		8,5		500	600	18,0		13,0	+4,0 −5,0	9,0		9,0	
450	500	15		9,0		600	700	20,0		15,0		10,0	+6,0 0	11,5	+5,0 0
500	550	17		11,0	0 −10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
550	600	18		11,5		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	650	19	+5,0 −10,0	12,5	0 −12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

12. Припуски (минимальные) на механическую обработку и допуски на размеры заготовок, изготовляемых методом штамповки на молотах в *мм*



Наружный диаметр готовых колец D в *мм*		На наружный диаметр								
		$\frac{H}{s} \leqslant 3{,}5$			$3{,}5 < \frac{H}{s} \leqslant 5$			$5 < \frac{H}{s} \leqslant 7$		
		Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ
Свыше	До	Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи	
		Припуск n			Припуск n			Припуск n		
—	50	3,5	3,0	+1,0	4,0	3,5	+1,0	4,0	3,5	+1,5
50	80	4,0	3,5				+1,5		4,0	
80	120			+1,5	4,5	4,0		4,5	4,5	
120	150	4,5	4,0		5,0	4,5		5,0	5,0	
150	180	5,0	4,5			5,0	+2,0	5,5	5,5	+2,0
180	220		5,0	+2,0	5,5	5,5		6,0	6,0	

Продолжение табл. 12

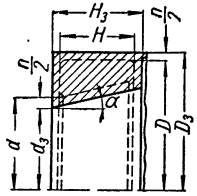
На внутренний диаметр

Внутренний диаметр готовых колец d в мм		$\frac{H}{s} \leqslant 3{,}5$			$3{,}5 < \frac{H}{s} \leqslant 5$			$5 < \frac{H}{s} \leqslant 7$		
		Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ	Метод зажима на первой токарной операции		Допускаемые отклонения Δ
Свыше	До	Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи		Изнутри	Снаружи	
		Припуск n			Припуск n			Припуск n		
—	50	3,0	3,5	−1,0	3,5	4,0	−1,0	3,5	4,0	−1,0
50	80							4,0		
80	120	3,5	4,0	−1,5	4,0	4,5	−1,5	4,5	4,5	−1,5
120	150	4,0	4,5		4,5	5,0		5,0	5,0	
150	180	4,5	5,0		5,0			5,5	5,5	−2,0

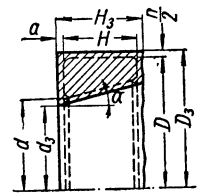
На высоту

Наружный диаметр готовых колец D в мм		$\frac{H}{s} \leqslant 3{,}5$ и $3{,}5 < \frac{H}{s} \leqslant 5$		$5 < \frac{H}{s} \leqslant 7$	
Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ
—	50	3,5	+1,0	4,0	+1,5
50	80		+1,5		
80	120			4,5	+2,0
120	150	4,0	+2,0	5,0	
150	180	4,5		5,5	
180	220				

13. Припуски минимальные на механическую обработку и допуски на размеры заготовок, изготовляемых методом холодной штамповки и горячей калибровки, в *мм*



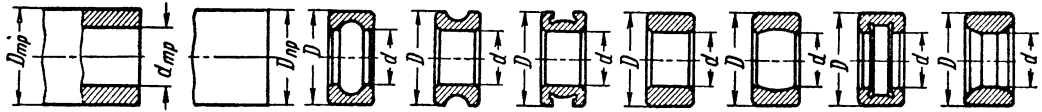
Горячая калибровка



Холодная штамповка

Заготовки горячей калибровки										Заготовки холодной штамповки									
Наружный диаметр готовых колец D		На наружный диаметр		На высоту		Внутренний диаметр готовых колец d		На внутренний диаметр		Наружный диаметр готовых колец D		На наружный диаметр		На высоту		Внутренний диаметр готовых колец		На внутренний диаметр	
Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ	Свыше	До	Припуск n	Допускаемые отклонения Δ
100	120	2,5	+0,7	2,5	+5,0	80	120	2,5	−1,0	—	50	0,4	+0,3	1,7	+2,5	—	30	0,3	−0,2
120	150					120	150			50	80				+3,0	30	50	0,4	
150	180	3,0	+1,0	3,0		150	180	3,0		80	120	0,5		2,0	+3,5	50	80	0,5	
180	200					—	—			120	130	0,6				80	100	0,6	

14. Припуски (минимальные) на механическую обработку колец, изготовляемых из прутков и труб, в *мм*



Формы колец, изготовляемых обтачиванием из труб и прутков

По наружному диаметру								По внутреннему диаметру							
Наружный диаметр готовых колец D		Горячекатаные обточенные трубы				Холоднокатаные трубы		Внутренний диаметр готовых колец d		Горячекатаные обточенные трубы				Холоднокатаные трубы		
											Наружные кольца всех других подшипников. Внутренняя поверхность после термообработки			Наружные кольца всех типов подшипников. Внутренняя поверхность после термообработки		
Свыше	До	Наружные кольца	Внутренние кольца	Наружные кольца	Внутренние кольца	Наружные кольца	Внутренние кольца	Свыше	До	Наружные кольца сферических подшипников	не шлифуется	шлифуется	Внутренние кольца всех типов подшипников	не шлифуется	шлифуется	Внутренние кольца всех типов подшипников
		без обточки по наружной поверхности		с обточкой по наружной поверхности												
30	60	—	—	—	—		0,8	—	30	—	—	—	—			
60	90		0,25	0,8	0,8	1,0	0,9	30	50	1,8	1,5			1,4	1,6	1,6
90	120	0,4	0,30	1,0	0,9			50	80	1,9		2,0	2,0			
120	150		0,35		1,0	—	—	80	120		1,8					
150	180	0,5	—	1,2	—			120	150	2,1		2,3	2,3	—	—	—

Примечание. Допускаемые отклонения размеров прутков и труб принимают по соответствующим ГОСТ.

15. Припуски (минимальные) на механическую обработку колец, изготовляемых из прутков и труб в *мм*

Наружный диаметр готовых колец D		Прутки		Наружный диаметр готовых колец D		Прутки	
Свыше	До	Горячекатаные (отожженные)	Холоднотянутые	Свыше	До	Горячекатаные (отожженные)	Холоднотянутые
—	10	—	0,6	26	30	1,5	1,1
10	18	—	0,8	30	50	2,0	—
18	26	—	1,0	50	70	2,5	—

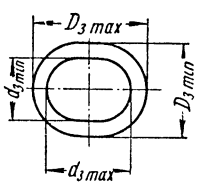
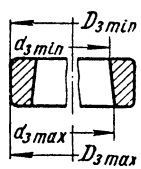
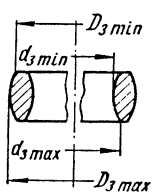
Примечание. Допускаемые отклонения размеров прутков и труб принимают по соответствующим ГОСТ.

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПРИЕМКУ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК

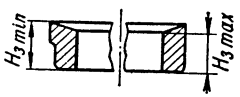
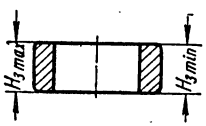
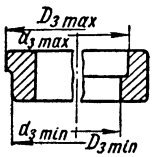
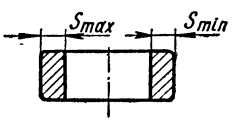
В процессе изготовления заготовок в результате неточностей в системе машина — заготовка — штамповочный инструмент неизбежно возникают отклонения от правильной геометрической формы из-за овальности, конусности и погрешностей других параметров, а также из-за образования на поверхностях заготовок местных дефектов в виде заусенцев или кольцевых вырывов.

В табл. 16—19 приведены допускаемые отклонения основных геометрических параметров и величины местных дефектов, допускаемые на поверхностях заготовок при различных методах их изготовления.

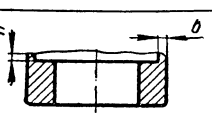
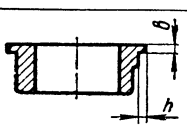
16. Допускаемые отклонения заготовок от правильной геометрической формы (штампованные и кованые заготовки)

Геометрические параметры	Определение	Допускаемые отклонения
Овальность 	Разность наибольшего и наименьшего диаметров, измеренных в одном поперечном сечении	В пределах допуска на соответствующие размеры
Конусность 	Разность диаметров по краям одного продольного сечения	
Бочкообразность 	По наружной поверхности: разность между наибольшим диаметром в средней части и меньшим из крайних диаметров одного продольного сечения. По внутренней поверхности: разность между наибольшим из крайних диаметров и наименьшим диаметром в средней части продольного сечения	

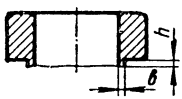
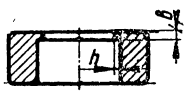
Продолжение табл. 16

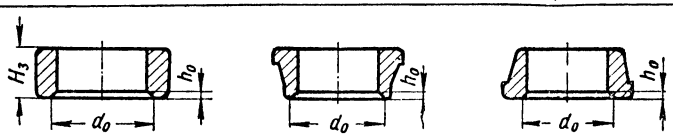
Геометрические параметры	Определение	Допускаемые отклонения
Вогнутость торца 	Разность между минимальной высотой по наружной поверхности и минимальной высотой по внутренней поверхности заготовки	В пределах допуска на высоту заготовки
Непараллельность торцов 	Разность между наибольшей и наименьшей высотами заготовки	
Ступенчатость по наружной и внутренней поверхности 	Разность диаметров по цилиндрической поверхности	В пределах допуска на соответствующие размеры
Разностенность 	Разность между наибольшей и наименьшей толщинами стенки заготовки	Для штампованных и кованых заготовок 30% от припуска на токарную обработку; для раскатанных — 15%

17. Допускаемые заусенцы на поверхностях заготовок (штампованные и кованые заготовки)

Способ получения заготовок	Виды заусенцев	Величины заусенцев в *мм*	
		h	*b*
Штамповка в разъемных матрицах		3,0	1,5
Штамповка в пуансонах	 Круговой заусенец по наружной поверхности	2,0	1,0

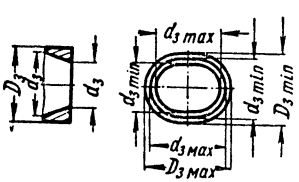
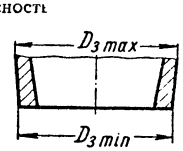
Продолжение табл. 17

Способ получения заготовок	Виды заусенцев	Величины заусенцев в *мм*	
		h	*b*
Штамповка в разъемных матрицах и в пуансонах	 Круговой заусенец по внутренней поверхности	2,0	0,75
Штамповка на ГКМ с последующей раскаткой	 Круговой заусенец по внутренней поверхности	0,5	1,0

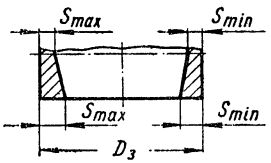
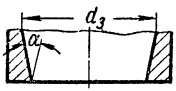


Величина кольцевого вырыва допускается в следующих пределах; размер d_0 не должен превышать этого же размера у кольца после токарной обработки, а размер h_0 не должен быть больше величины припуска на высоту заготовки.

18. Допускаемые отклонения холодноштампованных заготовок от правильной геометрической формы

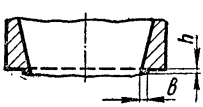
Геометрические параметры	Определение	Допускаемые отклонения
Овальность 	Разность между наибольшим и наименьшим диаметрами, измеренными в одном поперечном сечении	В пределах половины допуска на соответствующий размер
Конусность 	Разность диаметров по краям одного продольного сечения	То же

Продолжение табл. 18

Геометрические параметры	Определение	Допускаемые отклонения
Разность 	Разность e между наибольшей s_{max} и наименьшей s_{min} толщиной стенки заготовки (с широкого и узкого торца)	Для заготовок с наружным диаметром D_3 до 85 *мм* $e = 0{,}15$ *мм*, свыше 85 *мм* $e = 0{,}2$ *мм*
Отклонение по углу внутренней конической поверхности 	Разность между фактическим и номинальным углом конуса α	В пределах половины допуска на больший диаметр конуса d_3

19. Допускаемые заусенцы по внутренней поверхности холодноштампованных заготовок

Размеры в *мм*

Вид заусенца	Величина заусенца		
	Наружный диаметр заготовки	h	b
Круговой заусенец по внутренней поверхности 	До 85	До 1,5	До 0,8
	Св. 85	До 2,0	До 1,0

КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Затраты на металл по их удельному весу в общей стоимости продукции составляют около 35%.

Расход металла при изготовлении колец подшипников складывается из чистого веса готовых деталей, отходов в стружку, концевых отходов, отходов на угар и окалину, отходов на заусенцы и прочих отходов.

Концевые отходы прутков, получаемые при штамповке на ГКМ, молотах и при свободной ковке или при отрезке последней заготовки на токарных автоматах, почти полностью используют, а отходы на угар, окалину, заусенцы и прочие отходы не представляют значительных величин.

Основной частью непроизводительного расхода металла являются отходы в стружку, связанные со съемом припуска в механических цехах (токарных, шлифовальных).

Коэффициент выхода годной продукции по цехам в подшипниковой промышленности характеризуются величинами, приведенными в табл. 20.

В табл. 21 даны коэффициенты использования металла в подшипниковой промышленности.

Из табл. 21 видно, что относительно высокие значения коэффициентов использования металла получают при методах изготовления заготовок, обеспечивающих меньший съем металла при механической обработке (см. табл. 10—15).

Однако на коэффициент использования металла оказывают влияние не только величина припуска, но и геометрическая форма и размеры колец.

20. Коэффициенты выхода годной продукции при изготовлении колец подшипников качения по цехам

Кузнечные	Токарные	Шлифовальные
Отношение черного веса заготовки к весу расходуемого металла $\frac{Q_з}{H}$	Отношение веса токарнообработанного кольца к черному весу заготовки $\frac{Q_т}{Q_з}$	Отношение чистого веса кольца к весу токарнообработанного кольца $\frac{Q_ш}{Q_т}$
0,80—0,90	0,45—0,65	0,92—0,95

21. Коэффициенты использования металла при изготовлении заготовок колец различными методами

Метод изготовления заготовок	Коэффициент использования металла	Средний коэффициент использования металла
Свободная ковка на молотах	0,27—0,48	0,36
Штамповка на ГКМ с последующей профильной раскаткой	0,33—0,43	0,42
Горячая калибровка из поковок	0,49	0,49
Вытачивание из горячекатаных прутков	0,23—0,26	0,26
Вытачивание из труб:		
а) холоднокатаных	0,2—0,52	0,45
б) горячекатаных обточенных	0,28—0,58	0,5

Это наглядно иллюстрируется на примере заготовок цилиндрической формы, для которых формула определения коэффициента использования металла будет иметь следующий вид:

$$K_{ис} = \frac{Q_ш}{Q_з \alpha} =$$

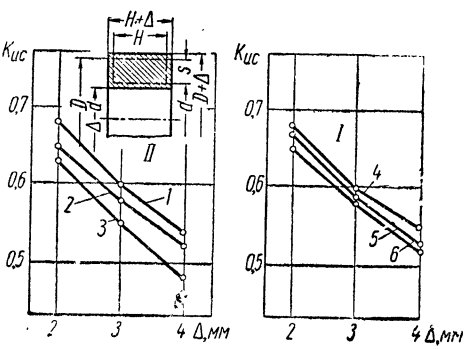
$$= \frac{\frac{\pi}{4}\gamma (D^2 - d^2) H}{\frac{\pi}{4}\gamma [(D + \Delta)^2 - (d - \Delta)^2] (H + \Delta) \alpha}.$$

Подставим в формулу значение $D - d = 2s$ и, преобразовав формулу, получим:

$$K_{ис} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta}{s}\right)\left(1 + \frac{\Delta}{H}\right)\alpha},$$

где $Q_ш$ — чистый вес кольца; $Q_з$ — вес заготовки; α — коэффициент, учитывающий технологические потери металла (концевые отходы, угар и т. п.), связанные с методом получения заготовок (равный в среднем 1,15); Δ — припуск на механическую обработку; s — толщина стенки заготовки кольца.

Как видно из формулы, а также из графиков (фиг. 1), коэффициент использования металла повышается с уменьшением припуска. С увеличением толщины стенки s и высоты колец H коэффициент использования металла при одних и тех



Фиг. 1. Зависимости коэффициента использования металла от геометрических параметров кольца цилиндрической формы: *I* при $H = 20$ *мм*; $\alpha = 1{,}15$; *1* — $s = 12$ *мм*; *2* — $s = 10$ *мм*; *3* — $s = 8$ *мм*; *II* — при $s = 10$ *мм*; $\alpha = 1{,}15$; *4* — $H = 30$ *мм*; *5* — $H = 25$ *мм*; *6* — $H = 20$ *мм*.

же значениях припуска также возрастает. Кольца подшипников представляют собой тонкостенные детали с относитель-

но небольшой высотой, что при существующих методах производства создает сравнительно большую разницу между чистым весом и нормой расхода металла, идущего на изготовление этих деталей, снижая коэффициент его использования в подшипниковой промышленности в целом.

Норма расхода металла на кольцо зависит от применяемого исходного металла, способа получения заготовки, конфигурации и типоразмера подшипника.

Расчеты норм расхода металла при изготовлении колец из заготовок, полученных штамповкой на ГКМ, свободной ковкой, штамповкой на молотах, холодной штамповкой из полосового металла и при вытачивании из прутка и трубы, приведены в табл. 22—37.

В табл. 22—29 приведены расчеты норм расхода металла при изготовлении колец подшипников методом горячей штамповки на ГКМ.

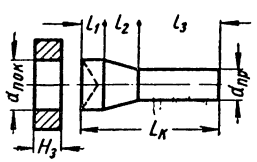
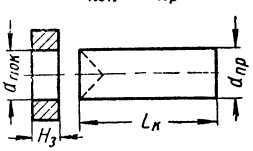
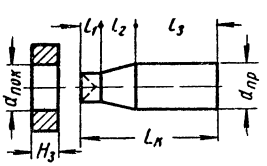
22. Расчет норм расхода металла при изготовлении 1000 шт. колец заготовок горячей штамповкой на ГКМ

Наименование	Формулы и расчеты
Норма расхода металла в *кГ*	$H = Q_з' + q_к + q_п + q_у + q_н$
Черный вес заготовки в *кГ*	$Q_з' = Q_з K_з$
Вес поковки в *кГ*	$Q_з$ определяется по табл. 38
Коэффициент, учитывающий вес заусенца	$K_з$ принимается равным 1,0075
Вес концевых отходов на одну заготовку в *кГ*	$q_к = \frac{q_{пр} \cdot 1000}{n}$
Вес концевого отхода от данного прутка в *кГ*	$q_{пр}$ определяется по табл. 23
Число заготовок, получаемых из данного прутка	$n = \frac{1000(Q_{пр} - q_{пр})}{Q_з'}$
Вес прутка в *кГ*	$Q_{пр} = \frac{\pi d_{пр}^2}{4} L_{пр}\gamma = 0{,}000006165 d_{пр}^2 L_{пр}$ или по табл. 26
Длина прутка	$L_{пр}$ принимается равной 3,26 *м* для прутков диаметром до 65 *мм* включительно и 2,68 *м* для прутков диаметром 70 *мм* и выше
Удельный вес стали	$\gamma = 0{,}00000785$ *кГ/мм*³
Вес отхода, связанный с неполным заполнением формующей полости при штамповке первой заготовки, в *кГ*	$q_п = \frac{2}{3} \cdot \frac{Q_з'}{n}$
Вес отходов на угар и окалину в *кГ*	$q_у = K_у Q_з'$ (без последующей раскатки); $q_у = (K_у + K_у') Q_з'$ (с последующей раскаткой)
Коэффициент, учитывающий расход металла на угар и окалину при штамповке без последующей раскатки	$K_у$ принимается по табл. 27
Коэффициент, учитывающий расход металла на угар и окалину при штамповке с последующей раскаткой	$K_у'$ принимается по табл. 27
Расход металла на испытания и наладку технологического оборудования	$q_н = (Q_з' + q_к + q_п + q_у) \frac{C}{100}$

Продолжение табл. 22

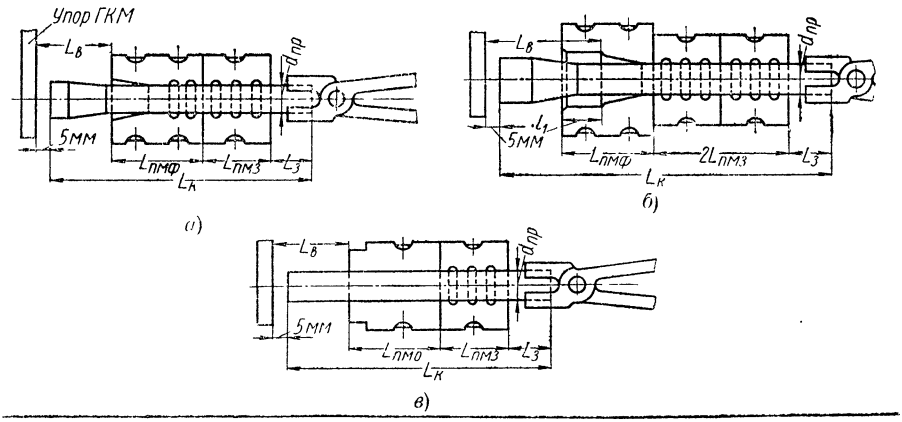
Наименование	Формулы и расчеты
Процент, учитывающий расход металла на различные испытания и на наладку технологического оборудования	C принимается по табл. 29
Вес отхода в шлифовальную пыль в *кГ*	$q_ш = K_ш Q_ш$
Коэффициент, учитывающий отходы в шлифовальную пыль	$K_ш$ принимается по табл. 28
Чистый вес готового кольца в *кГ*	$Q_ш$ принимается по чертежу кольца
Вес отходов в стружку в *кГ*	$q_c = Q'_з - (Q_ш + q_ш)$
Коэффициент использования металла	$K_{ис} = \frac{Q_ш}{н}$

23. Формулы для определения веса концевого отхода от данного прутка $q_{пр}$ в *кГ*

Соотношение между $d_{пок}$ и $d_{пр}$	Формулы
$d_{пок} > d_{пр}$ 	$q_{пр} = \gamma \frac{\pi}{4} \left[d^2_{пок} l_1 + \frac{l_2}{3} \left(d^2_{пок} + d^2_{пр} + d_{пок} d_{пр} \right) + d^2_{пр} l_3 \right]$; $l_1 = 0{,}5 H_3$ *мм*; $l_2 = L_{пмф} - (H_3 + 20)$ *мм*; $l_3 = L_к - (l_1 + l_2)$ *мм*
$d_{пок} = d_{пр}$ 	$q_{пр} = \gamma \frac{\pi}{4} d^2_{пр} L_к = 0{,}000006165 d^2_{пр} L_к$
$d_{пок} < d_{пр}$ 	$q_{пр} = \gamma \frac{\pi}{4} \left[d^2_{пок} l_1 + \frac{l_2}{3} \left(d^2_{пок} + d^2_{пр} + d_{пок} d_{пр} \right) + d^2_{пр} l_3 \right] = 0{,}000006165 \left[d^2_{пок} l_1 + \frac{l_2}{3} \left(d^2_{пок} + d^2_{пр} + d_{пок} d_{пр} + d^2_{пр} l_3 \right) \right]$

Примечание. $L_к$ определяется по табл. 24; $L_{пмф}$ — по табл. 25.

24. Формулы для определения длины концевого отхода $L_к$ при различных методах штамповки на ГКМ



Наименование	Формулы	Метод штамповки
Длина концевого отхода в *мм*	$L_к = (L_в + L_{пмф} + L_{пмз} + L_з) - 5$ *мм*	а) Штамповка в пуансоне
	$L_к = (L_в - l + L_{пмф} + 2L_{пмз} + L_з) - 5$ *мм*	б) Штамповка в разъемных матрицах двухручьевая
	$L_к = (L_в + L_{пмо} + L_{пмз} + L_з) - 5$ *мм*	в) Штамповка в разъемных матрицах трехручьевая
Длина выступающей части прутка в *мм*	$L_в = \frac{Q'_з}{q_{пог}} + K_п H_з$	Все методы
Вес 1 пог. *мм* прутка в *кГ*	$q_{пог}$ принимается по ГОСТ	
Коэффициент, зависящий от формы и размеров керна пуансона формирования	Для заготовок с отношением $\frac{H_з}{D_з} \leqslant 0,7$ $K_п = 0,6 \div 0,8$	Все методы
Высота заготовки в *мм*	$H_з$ принимается равной номинальному размеру по чертежу заготовки	
Длина полуматрицы формирования	$L_{пмф}$ принимается по табл. 25	
Длина зажимной полуматрицы в *мм*	$L_{пмз}$ принимается по табл. 25	

Продолжение табл. 24

Наименование	Формулы	Метод штамповки
Длина полуматрицы первой осадки в *мм*	$L_{пмо}$ принимается по табл. 25	Штамповка в разъемных матрицах трехручьевая
Длина рабочей полости полуматрицы формирования в *мм*	$l = H_з + 10$	Штамповка в разъемных матрицах двухручьевая
Часть прутка, необходимая для удержания его при переносе из ручья в ручей, в *мм*	$L_з = d_{пр}$	Все методы

25. Значения $L_{пмз}$, $L_{пмф}$ и $L_{пмо}$ в *мм*

Методы штамповки	Количество ручьев	Обозначения	Горизонтально-ковочные машины (модели)						
			2″	3″	4″	5″	6″	7″	8″
В пуансоне	2	$L_{пмф}+L_{пмз}$	138,0	183	232,5	263,0	322,0	322,0	322,0
В разъемных матрицах	2	$L_{пмф}$	70,0	93,0	125,0	150,0	190,0	190,0	190,0
		$2L_{пмз}$	150,0	180,0	215,0	225,0	305,0	305,0	305,0
	3	$L_{пмо}$	83,0	100,0	105,0	—	—	—	—
		$L_{пмз}$	75,0	90,0	125,0	—	—	—	—

26. Расчетный вес прутков с учетом половины допуска на размер в *кГ*

$d_{пр}$ в *мм*	25	27	30	33	35	38	42	45	48	52	55	60	65	70	75
$Q_{пр}$	13,03	15,12	18,6	22,2	25,4	30,1	36,7	42,0	47,7	56,0	62,7	74,5	87,0	83,0	95,4
$d_{пр}$ в *мм*	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
$Q_{пр}$	108,5	122,2	136,8	153,3	169,6	186,8	204,5	223,5	245,0	265,0	287,0	309,0	332,0	356,0	382,0

27. Значения $K_у$ и $K_у'$ при различных методах получения заготовок и типах нагревательных устройств

Методы получения заготовок	Коэффициент	Пламенная печь	Муфельная печь	Индукционная печь	Примечание
Без последующей раскатки	$K_у$	0,015	0,01	0,005	—
С последующей раскаткой	$K_у'$	0,020	0,015	0,007	Для заготовок диаметром до 200 *мм*
		0,015	0,010	0,005	Для заготовок диаметром свыше 200 *мм*

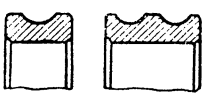
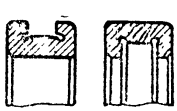
28. Значения коэффициента $K_ш$

Чистый вес кольца в *кГ*	До 0,1	0,1 — 0,2	0,2 — 0,5	0,5 — 1,0	Свыше 1,0
$K_ш$	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05

29. Расход металла на различные испытания и наладку технологического оборудования в %

Основные конструкции колец	Исходная заготовка: Вид		Марка стали	Испытание: металла	Испытание: деталей после термообработки	Испытание: готовых подшипников	Наладка технологического оборудования: кузнечного	Наладка технологического оборудования: токарного и прессового	Наладка технологического оборудования: шлифовального	Сборка	Итого в %
	Пруток	Горячекатаный неотожженные	ШХ	0,2	0,4	0,1	0,7	1,1	0,8	0,1	3,4
		Горячекатаный отожженные					—	1,2	0,9		2,9
		Холоднотянутый		0,05							2,8
	Труба	Горячекатаная							0,8		2,8
		Холоднокатаная							0,9		2,9
	Пруток	Горячекатаный неотожженные					0,7	1,1			3,5
	Пруток	Горячекатаный неотожженные							0,9		2,8
	Труба	Горячекатаная					—				
	Пруток	Горячекатаный неотожженные					0,7	0,9			3,3
		Горячекатаный отожженные					—		1,0		2,7
	Труба	Горячекатаная							0,9		2,6
	Пруток	Горячекатаный неотожженные					0,7	1,1	1,2		3,8

Продолжение табл. 29

Основные конструкции колец	Исходная заготовка: Вид		Исходная заготовка: Марка стали	Испытание: металла	Испытание: деталей после термообработки	Испытание: готовых подшипников	Наладка технологического оборудования: кузнечного	Наладка технологического оборудования: токарного и прессового	Наладка технологического оборудования: шлифовального	Сборка	Итого в %
	Пруток	Горячекатаный отожженный	ШХ				—	1,5	**1,3**		3,6
	Пруток	Горячекатаный неотожженный		0,2	0,4	0,1	0,7	1,1	1,2	0,1	3,8
	Пруток	Горячекатаный отожженный							1,3		3,6
	Пруток	Холоднотянутый		0,005			—	1,5			3,5
	Труба	Горячекатаная							1,2		3,5
	Труба	Холоднокатаная							1,3		3,6
	Пруток	Горячекатаная неотожженный		0,2			0,7	1,1	1,4		4,0
	Пруток	Горячекатаная неотожженный									
	Пруток	Горячекатаная отожженный							1,5		3,8
	Труба	Горячекатаная					—	1,5	1,4		3,7
	Труба	Холоднокатаная							1,5		3,8

При определении черного веса заготовок ($Q'_з$) все расчетные размеры ($D_з$, $d_з$, $H_з$) принимают равными минимальным значениям, указанным в чертежах заготовок, плюс половина допуска на их изготовление. При изготовлении заготовок методом штамповки на ГКМ с последующей раскатной все расчетные размеры принимаются равными минимальным значениям размеров заготовки под раскатку плюс $^1/_2$ допуска. Номинальные размеры заготовки под раскатку устанавливаются исходя из веса, определяемого из следующих расчетных размеров готовой раскатанной заготовки: наружный и внутренний диаметры — максимальные размеры, высота — средний размер.

В табл. 30—31 приведены расчеты норм расхода металла при изготовлении колец подшипников методом свободной ковки.

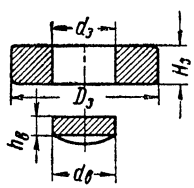
При определении чистого веса заготовок в формулу подставляют размеры из чертежа заготовки на основании следующего правила: максимальные размеры наружного и внутреннего диаметров и высоты заготовки.

В табл. 32 дан расчет норм расхода металла при штамповке заготовок на молотах. При определении черного веса заготовок все расчетные размеры принимают равными минимальным значениям, указанным в чертежах заготовок, плюс половина допуска на их изготовление.

В табл. 33 приведен расчет норм расхода металла при изготовлении заготовок методом холодной штамповки из полосового металла.

В табл. 34—37 приведены расчеты норм расхода металла при изготовлении колец из прутков и труб.

30. Расчет норм расхода металла при изготовлении 1000 колец-заготовок методом свободной ковки



Наименование	Формулы и расчеты
Норма расхода металла в *кГ*	$H = Q'_з + q_в + q_\Delta + q_у + q_р + q_{нк} + q_н$
Черный вес заготовки в *кГ*	$Q'_з = \frac{\pi}{4}\left(D_з^2 - d_з^2\right) H_з \gamma 1000 = 0{,}006165\left(D_з^2 - d_з^2\right)H_з$
Вес отходов на донышко (выдру) в *кГ*	$q_в = \frac{\pi}{4} d_в^2 h_в \gamma 1000 = 0{,}006165 d_в^2 h_в$

Диаметр выдры в *мм*

Значения $d_в$ в *мм*

Диаметр заготовки $D_з$	Высота заготовки $H_з$ в *мм*			
	До 40	40—59	60—79	80—200
до 150	60	51	44	44
150—250	85	76	69	62
250—450	100	91	84	77
450—650	110	101	94	87
Св. 650	120	111	104	97

Высота выдры в *мм*

Значения $h_в$ в *мм*

$H_з$	до 40	40 и выше
$h_в$	$H_з$	$0{,}1H_з + 10$ *мм*

Продолжение табл. 30

Наименование	Формулы и расчеты
Вес отходов, связанный с положительным отклонением длины исходной заготовки, получаемой рубкой проката на молоте в горячем состоянии, в *кГ*	Для круга $q_\Delta = \frac{2}{3}\frac{\pi}{4}d_{пр}^2\Delta\gamma \cdot 1000 = 0{,}00411 d_{пр}^2\Delta;$ для квадрата со стороной $a_{пр}$ $q_\Delta = \frac{2}{3}a_{пр}^2\Delta\gamma \cdot 1000 = 0{,}00523 a_{пр}^2\Delta$ Примечание: q_Δ не учитывается: 1) при рубке металла с размерами свыше 100 *мм*; 2) при холодной ломке на прессе
Допуск на рубку прутков на заготовки под молотом	Значения Δ в *мм* Размеры круга, стороны квадрата: Δ 100—120: +3 120—200: +5 Свыше 200: +6
Вес отхода на обсечки при горячей рубке исходного проката на молоте в *кГ*	Для круга $q_p = 1{,}2 d_{пр} h_{mon}^2 \gamma \cdot 1000 = 0{,}009427 d_{пр} h_{mon}^2;$ для квадрата со стороной $qp = 1{,}2 a_{пр} h_{mon}^2 \gamma \cdot 1000 = 0{,}009427 a_{пр} h_{mon}^2$
Толщина лезвия топора	Значения h_{mon} Размеры круга, стороны квадрата: h_{mon} До 100: 15 Свыше 100: 20
Вес отхода на угар и окалину в *кГ*	При свободной ковке без раскатки $q_y = (Q_з + q_в + q_p)K_y;$ при свободной ковке с раскаткой $q_y = Q_з\left(K_y + K'_y\right) + K_y(q_в + q_p)$
Коэффициенты, учитывающие расход металла на угар и окалину при свободной ковке без раскатки и при свободной ковке с раскаткой	Значения K_y и K'_y при различных методах получения заготовок и типах нагревательных устройств

Методы получения	Коэффициенты	Пламенная печь	Муфельная печь
Свободная ковка без раскатки . .	K_y	0,04	0,03
Свободная ковка с раскаткой . . .	K'_y	0,01	0,007

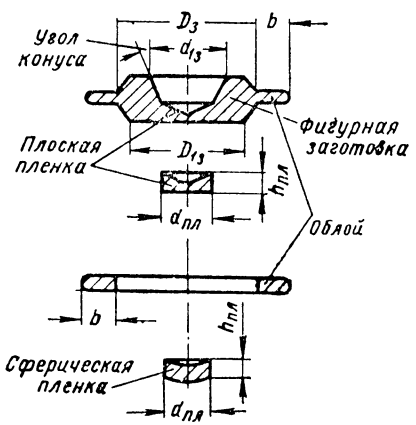
Продолжение табл. 30

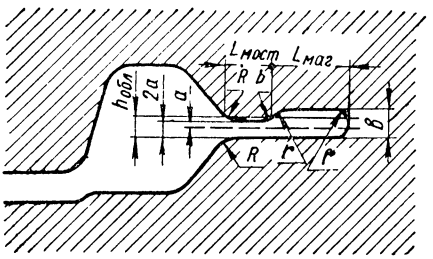
Наименование	Формулы и расчеты
Вес отходов на некратность в *кГ*	Для прутков $q_{нк} = Q\frac{2}{3}\frac{Q}{Q_{пр}\cdot 1000} = \frac{Q^2}{1500Q_{пр}}$ ($H_э$ до 50 *мм*); $q_{нк} = Q\frac{1}{2}\frac{Q}{Q_{пр}\cdot 1000} = \frac{Q^2}{2000\cdot Q_{пр}}$ ($H_э$ свыше 50 *мм*) Для концевых отходов от ГКМ $q_{нк} = \frac{Q}{Q_{исп}}\left(\frac{Q}{1500} + q_к - Q_{исп}\right)$ ($H_э$ до 50 *мм*); $q_{нк} = \frac{Q}{Q_{исп}}\left[\frac{Q}{2000} + q_к - Q_{исп}\right]$ ($H_э$ свыше 50 *мм*)
Вес исходной заготовки, полученной после рубки прутков, в *кГ*	$Q = Q_э' + q_в + q_\Delta + q_у$
Вес используемой части концевого отхода, остающегося после штамповки на ГКМ, в *кГ*	$Q_{исп} = \frac{q_к}{L_к}(L_к - d_{пр})$. $q_к$ и $L_к$ принимаются по табл. 22 — 25
Вес прутка в *кГ*	$Q_{пр} = \frac{\pi d_{пр}^2}{4}L_{пр}\gamma$ или $Q_{пр} = a_{пр}^2 L_{пр}\gamma$, или по табл. 26, 31. $L_{пр} = 3{,}26$ *м* для прутков до 65 *мм* и $L_{пр} = 2{,}68$ *м* для прутков 70 *мм* и выше принимается по ГОСТ 1133-41; $L_{пр} = 2{,}5$ *м* — по ГОСТ 4692-57 и $L_{пр} - 3{,}5$ *м* — по ГОСТ 4693-57.
Расход металла на испытания и наладку технологического оборудования, в *кГ*	$q_н = \left(Q_э' + q_в + q_\Delta + q_у q_р + q_{нк}\right)\frac{C}{100}$ C принимается по табл. 29
Вес отходов в шлифовальную пыль в *кГ*	$q_ш = K_ш \cdot Q_ш$; $K_ш$ принимается по табл. 28, $Q_ш$ — по чертежу кольца
Вес отходов в стружку в *кГ*	$q_с = Q_э' - (Q_ш + q_ш)$
Коэффициент использования металла	$K_{ис} = \frac{Q_ш}{H}$

31. Расчетный вес прутка квадратного сечения в *кГ* с учетом половины допуска на размер

$a_{пр}$ в *мм*	95	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160	170	180	190
$Q_{пр}$	225,0	252,0	280,0	303,0	331,7	364,0	397,5	442,0	495,2	—	—	529,0	599,0	670,0
$a_{пр}$ в *мм*	200	210	220	230	240	250	260	270	280	300	350	400	—	—
$Q_{пр}$	730,0	810,0	878,0	967,0	1059,0	1165,0	1225,0	1331,0	1440,0	1641,0	2248,0	2915,0	—	—

32. Расчет норм расхода металла при изготовлении 1000 шт. колец заготовок методом штамповки на молотах





Наименование	Формулы и расчеты
Норма расхода металла в *кГ*	$H = Q_з + q_{пл} + q_{обл} + q_у + q_{нк} + q_н$
Черный вес заготовок в *кГ*	$Q_з$ принимается по табл. 48
Вес отходов на выдру плоскую и сферическую в *кГ*	Для плоской пленки $q_{пл} = \frac{\pi}{4} d_{пл}^2 h_{пл} \gamma \cdot 1000 = 0{,}006165 d_{пл}^2 h_{пл}$; для сферической пленки $q_{пл} = \frac{\pi}{4}\left(d_{пл}^2 + 2h_{пл}^2\right) h_{пл} \gamma \cdot 1000 = 0{,}006165\left(d_{пл}^2 + 2h_{пл}^2\right) h_{пл}$ $d_{пл}$ принимается по технологической карте
Толщина пленки $h_{пл}$ в *мм*	Значения $h_{пл}$

Размеры заготовок		
$D_з$	$H_з$	$h_{пл}$
⩽ 140	< 7	$H_з$
	> 7	$0{,}25H_з + 3$ *мм*
⩾ 140	> 7	$0{,}25H_з + 5$ *мм*

$h_{пл}$ принимается не более 20 *мм*

Вес отходов на облой в *кГ*	$q_{обл} = V_{обл} \gamma \cdot 1000 = fF_{обл}P_з \gamma\, 1000 = 0{,}0173 F_{обл} D_з$, где f – коэффициент заполнения канавки для заусенца, равный 0,7

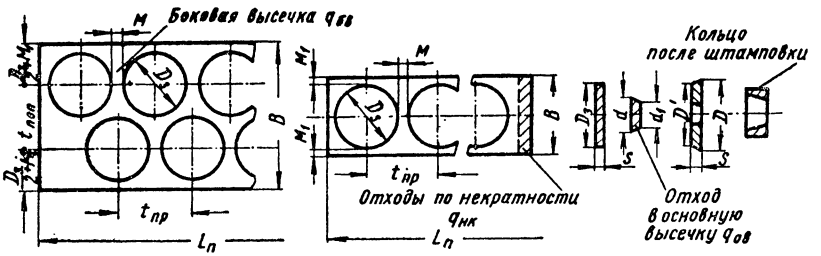
Продолжение табл. 32

<table>
<tr><th>Наименование</th><th>Формулы и расчеты</th></tr>
<tr><td>Объем облоя в мм³</td><td>$V_{обл} = F_{обл} P_з$,
где $P_з$ — длина периметра заготовки в плоскости разъема, равная $\pi D_з$ мм</td></tr>
<tr><td>Площадь сечения облоя в мм²</td><td>Значения $F_{обл}$ в зависимости от размеров канавки
Размеры в мм
<table>
<tr><th>a</th><th>b</th><th>$L_{мс}$</th><th>$L_{маг}$</th><th>$h_{обл}$</th><th>R</th><th>$F_{обл}$</th></tr>
<tr><td>0,3</td><td>3,0</td><td>6,0</td><td>18,0</td><td>2,1</td><td>1,0</td><td>52,0</td></tr>
<tr><td>0,4</td><td>3,0</td><td>6,0</td><td>20,0</td><td>2,6</td><td>1,0</td><td>69,0</td></tr>
<tr><td>0,5</td><td>3,0</td><td>7,0</td><td>22,0</td><td>2,7</td><td>1,0</td><td>80,0</td></tr>
<tr><td>0,8</td><td>3,5</td><td>8,0</td><td>22,0</td><td>3,4</td><td>1,0</td><td>102,0</td></tr>
<tr><td>1,0</td><td>4,0</td><td>9,0</td><td>25,0</td><td>4,0</td><td>1,5</td><td>136,0</td></tr>
<tr><td>1,5</td><td>5,0</td><td>10,0</td><td>28,0</td><td>5,3</td><td>1,5</td><td>201,0</td></tr>
<tr><td>2,0</td><td>6,0</td><td>11,0</td><td>30,0</td><td>6,5</td><td>2,0</td><td>268,0</td></tr>
<tr><td>2,5</td><td>7,0</td><td>12,0</td><td>32,0</td><td>7,8</td><td>2,0</td><td>343,0</td></tr>
<tr><td>3,0</td><td>8,0</td><td>13,0</td><td>35,0</td><td>9,7</td><td>2,5</td><td>435,0</td></tr>
<tr><td>4,0</td><td>10,0</td><td>14,0</td><td>38,0</td><td>11,6</td><td>3,0</td><td>601,0</td></tr>
<tr><td>5,0</td><td>12,0</td><td>15,0</td><td>40,0</td><td>14,0</td><td>3,0</td><td>768,0</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Вес отходов на угар и окалину в кГ</td><td>$q^y = (Q_з + q_{обл} + q_{пл}) K_y$
(штамповка без последующей раскатки);
$q^y = Q_з (K_y + K'_y) + (q_{обл} + q_{пл}) K_y$
(штамповка с последующей раскаткой)</td></tr>
<tr><td>Коэффициенты K_y, учитывающие расход металла на угар и окалину при штамповке без раскатки и K'_y при штамповке с раскаткой</td><td>Значения K_y и K'_y при различных методах получения заготовок и типах нагревательных устройств
<table>
<tr><th>Методы получения заготовок</th><th>Коэффициенты</th><th>Пламенная печь</th><th>Муфельная печь</th><th>Индукционная печь</th></tr>
<tr><td>Штамповка без раскатки</td><td>K_y</td><td>0,03</td><td>0,02</td><td>0,01</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Штамповка с раскаткой</td><td rowspan="3">K'_y</td><td colspan="3">Заготовки диаметром до 200 мм</td></tr>
<tr><td>0,015</td><td>0,01</td><td>0,01</td></tr>
<tr><td colspan="3">Заготовки диаметром свыше 200 мм</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>0,01</td><td>0,007</td><td>0,005</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

Продолжение табл. 32

Наименование	Формулы и расчеты
Вес отходов на некратность в *кГ*	Для прутков $q_{нк} = Q\frac{2}{3}\frac{Q}{Q_{пр}\cdot 1000} = \frac{Q^2}{1500\cdot Q_{пр}}$ (для $H_з$ до 50 *мм*); $q_{нк} = Q\frac{1}{2}\frac{Q}{Q_{пр}\cdot 1000} = \frac{Q^2}{2000\cdot Q_{пр}}$ (для $H_з$ свыше 50 *мм*)
	Для концевых отходов от ГКМ $q_{нк} = \frac{Q}{Q_{исп}}\left(\frac{Q}{1500} + q_к - Q_{исп}\right)$ (для $H_з$ до 50 *мм*); $q_{нк} = \frac{Q}{Q_{исп}}\left(\frac{Q}{2000} + q_к - Q_{исп}\right)$ (для $H_з$ свыше 50 *мм*)
Вес исходной заготовки, полученной после рубки прутков, в *кГ*	$Q = Q_з + q_{об} + q_{пл} + q_у$
Вес используемой части концевого отхода, остающегося после штамповки на ГКМ	$Q_{ис} = \frac{q_к}{L_к}(L_к - d_{пр})$
Вес концевого отхода Длина концевого отхода	$q_к$ и $L_к$ принимаются по табл. 22—25
Длина прутка	$L_{пр} = 3{,}26$ *м* для прутков до 65 *мм* и $L_{пр} = 2{,}68$ *м* для прутков 70 *мм* и выше по ГОСТ 1133-41; $L_{пр} = 2{,}5$ *м* по ГОСТ 4692-57 и $L_{пр} = 3{,}5$ *м* по ГОСТ 4693-57
Вес прутка в *кГ*	Для $Q_{пр}$ числовые значения приведены в табл. 26 и 31
Расход металла на испытания и наладку технологического оборудования в *кГ*	$q_п = (Q_з + q_{обл} + q_{пл} + q_у + q_{нк})\frac{C}{100}$; C принимается по табл. 29
Вес отходов на шлифовальную пыль в *кГ*	$q_ш = K_ш Q_ш$ $K_ш$ берется по табл. 28; $Q_ш$ — по чертежу колец
Вес отходов в стружку в *кГ*	$q_с = Q_з - (Q_ш + q_ш)$
Коэффициент использования металла	$K_{ис} = \frac{Q_ш}{H}$

33. Расчет норм расхода металла при изготовлении 1000 шт. колец-заготовок конических подшипников методом холодной штамповки



Наименование	Формулы и расчеты
Норма расхода металла в *кГ*	$H = Q_з + q_{нк} + q_н$
Черный вес заготовки в *кГ*	Для однорядной вырубки $Q_з = 0{,}00785\ t_{пр} s B$; для двухрядной вырубки $Q_з = 0{,}00785\ t_{пр} s \frac{B}{2}$
Продольный шаг в *мм*	$t_{пр} = D_з + M$
Перемычка в *мм*	$M = (0{,}7 \div 0{,}65)s$
Расчетная толщина полосы в *мм*	$s = s_1 + \frac{\Delta}{2}$
Толщина исходной полосы в *мм*	s_1 принимается по ГОСТ 103-57 (табл. 6)
Допуск на толщину полосы в *мм*	Δ принимается по ГОСТ 103-57 (табл. 6)
Ширина полосы в *мм*	Для однорядной вырубки $B = D_з + 2M_1$; для двухрядной вырубки. $B = D_з + 2M_1 + t_{поп}$ *B* округляется до ближайшего большего размера плюс $^1/_2$ допуска по ширине по ГОСТ 103-57
Перемычка в *мм*	$M_1 = 1{,}5\ M$
Поперечный шаг в *мм*	$t_{поп} = 0{,}866\ (D_з + M)$
Вес отходов на некратность в *кГ*	$q_{нк} = \frac{Q_з}{2} \cdot \frac{t_{пр}}{L_п}$
Расчетная длина полосы	$L_п$ принимается равной 3260 *мм*
Расход металла на испытания и наладку технического оборудования в *кГ*	$q_н = (Q_з + q_{нк}) \frac{C}{100}$. $C = 3{,}4\ \%$

Продолжение табл. 33

Наименование	Формулы и расчеты
Вес отходов на основную высечку в *кГ*	$q_{ов} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d+d_1}{2}\right)^2 s\gamma \cdot 1000 = 0{,}006165\left(\frac{d+d_1}{2}\right)^2 S,$ где d — диаметр высечки со стороны матрицы при пробивке в *мм*; d_1 — диаметр высечки со стороны пуансона в *мм*
Вес отходов на боковую высечку в *кГ*	$q_{бв} = Q_з - \frac{\pi}{4}\left(\frac{D-D'}{2}\right)^2 s\gamma\, 1000 = Q_з - 0{,}006165\left(\frac{D-D'}{2}\right)^2 s\gamma\, 1000,$ где D — наружный диаметр заготовочной шайбы со стороны пуансона в *мм*; D' — наружный диаметр заготовочной шайбы со стороны матрицы в *мм*
Вес отходов в шлифовальную пыль в *кГ*	$q_ш = K_ш Q_ш.$ $K_ш$ берется по табл. 28; $Q_ш$ — по чертежам кольца
Вес отходов в стружку в *кГ*	$q_с = Q_з - (Q_ш + q_ш + q_{ов} + q_{бв})$
Коэффициент использования металла	$K_{ис} = \frac{Q_ш}{H}$

34. Расчет норм расхода металла при изготовлении 1000 шт. колец из прутка и из трубы

Наименование	Формулы и расчеты
Норма расхода металла в *кГ*	Для прутков $H = 0{,}006165 d_{пр}^2 \frac{L_{пр}}{L_{пр} - (L_к + L_з + L_{нк})} \times \times (H_д + l_0 + l_п) + q_н;$ для труб $H = 0{,}002466\, s_{тр}\, (D_{тр} - s_{тр}) \frac{L_{тр}}{L_{тр} - L_{нк}} \times \times (H_д + l_0 + l_п) + q_н$
Диаметр прутка в *мм*	$d_{пр}$: для горячекатаных прутков минимальный размер плюс $^2/_3$ допуска по ГОСТ 1133-41; для холоднотянутых прутков номинальный размер по ГОСТ 7417-55
Диаметр трубы в *мм*	$D_{тр}$ — минимальный размер плюс $^1/_2$ допуска по ГОСТ 800-55
Длина прутка в *мм*	$L_{пр}$ принимается равной 2500

Продолжение табл. 33

Наименование	Формулы и расчеты
Длина трубы в *мм*	$L_{тр}$ при обработке на многошпиндельных автоматах принимается равной 2500; при обработке на других станках для горячекатаных труб принимается равной 1100, для холоднокатаных — 1500
Длина концевого отхода в *мм*	$L_к$ принимается по табл. 35
Длина отрезки-зачистки неровного конца прутка в *мм*	Значения $L_з$ в зависимости от диаметра

$d_{пр}$ в *мм*	До 4	4—8	8—12	12—18	18—25	25—34	34—50	50 и более
$L_з$	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0	12,0	18,0	25,0

Высота кольца после токарной обработки	$H_д$ — минимальный размер кольца после токарной обработки плюс $^1/_2$ допуска по чертежу
Длина отхода на некратность	$L_{нк}$ для горячекатаных и холоднокатаных труб принимается равной $Hд$; для холоднокатаных труб с толщиной стенки $s_{тр} < 7$ *мм* $L_{нк} = 30$ *мм*, для прутков $L_{нк} = \frac{H_д}{2}$
Величина отхода на отрезку кольца от прутка (трубы) в *мм*	l_0 принимается по табл. 36
Величина подрезки прутка (трубы) после отреза каждого кольца в *мм*	$l_п$ принимается по табл. 37
Толщина стенки трубы в *мм*	$s_{тр}$ для холоднокатаных труб принимается номинальный размер плюс 10%; для горячекатаных труб — номинальный размер плюс 15%
Расход металла на испытания и наладку технологического оборудования в *кГ*	Для прутков $$q_н = 0{,}006165 d_{пр}^2 \frac{L_{пр}}{L_{пр} - (L_к + L_з + L_{нк})} \times (H_д + l_0 + l_п) \frac{C}{100};$$ для труб $$q_н = 0{,}002466\ s_{тр}(D_{тр} - s_{тр}) \frac{L_{тр}}{L_{тр} - L_{нк}} \times (H_д + l_0 + l_п) \frac{C}{100}$$ C принимается по табл. 29
Вес концевых отходов в *кГ*	$$q_к = H \frac{L_к}{L_{пр}}$$

Продолжение табл. 33

Наименование	Формулы и расчеты
Вес отходов на отрезку-зачистку неровного конца прутка в *кГ*	$q_з = H\frac{L_з}{L_{пр}}$
Вес отходов на некратность прутка (трубы)	$q_{нк} = H\frac{L_{нк}}{L_{пр}}$; $q_{нк} = H\frac{L_{нк}}{L_{тр}}$
Вес отходов в шлифовальную пыль в *кГ*	$q_ш = K_ш Q_ш$
Коэффициент, учитывающий отходы в шлифовальную пыль	Принимается по табл. 28
Чистый вес готового кольца	Берется по чертежу кольца
Вес отходов в стружку в *кГ*	$H - (Q_ш + q_з + q_к + q_{нк} + q_н + q_ш)$

35. Размеры концевого отхода $L_к$ при изготовлении колец из прутка в *мм*

$d_{пр}$	Одношпиндельные агрегаты (модели)	$L_к$	$d_{пр}$	Многошпиндельные агрегаты (модели)	
До 12	1112, 112, 110	55	До 22	Тип 22 и др.	70
18	1118, 118	55	38	Тип 123 и др.	85
24	1124	65	70	Тип 126 и др.	95
36	1136	75	70	Тип 1261 и др.	105
Свыше 36	1152	85	—		

36. Величина отхода l_0 при отрезке кольца от прутка (трубы)

Размеры в *мм*

$d_{пр}$ или $D_{тр}$		Прутки				Трубы с толщиной стенки		
		Толщина стенки кольца						
от	до	до 3	3—5	5—10	10	до 5	5—20	20
	6	1,0	—	—	—	—	—	—
6	10	1,5	2,0	—	—	—	—	—
10	16	1,5	2,5	2,5	—	—	—	—
16	24	2,0	2,5	3,0	—	—	—	—
24	34	2,0	2,5	3,5	3,5	—	—	—
34	50	2,5	3,0	3,5	3,5	—	—	—
50	80	—	3,0	3,5	3,5	3,0	3,5	—
80	120	—	—	—	—	3,5	3,5	4,0
120	180	—	—	—	—	—	4,0	4,5

37. Размеры подрезки $l_п$ прутка (трубы) в *мм*

$d_{пр}$ или $D_{тр}$	Величина подрезки			
	Прутка	Трубы		
		Методы изготовления колец		
		Полная обработка колец на многошпиндельных автоматах	Отрезка колец на станках	
			с последующим шлифованием торцов	с последующей подрезкой торцов
16	0,5	—	—	—
16—50	1,0	1,0	0,5	0,8
50—80	1,5	1,2	0,5	1,0
80—120	—	1,5	0,7	1,2
120—180	—	2,0	1,0	1,5

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Горячая штамповка кольцевых заготовок на горизонтально-ковочных машинах

Штамповка заготовок колец подшипников на ГКМ имеет широкое распространение вследствие преимуществ этого метода, характеризующегося: а) высокой производительностью, обеспечивающей съем с одной машины от 100 до 500 кольцевых заготовок в час; б) экономичностью расходования материала (коэффициент выхода годного близок к 0,9) — получением заготовок с относительно небольшими припусками на механическую обработку; в) чистотой поверхности заготовок.

В зависимости от геометрической формы и технических требований к заготовкам, а также от технологических возможностей, применяется штамповка в пуансоне или штамповка в матрицах. Предпочтительнее метод штамповки в пуансоне (фиг. 2), обеспечивающий по сравнению со штамповкой в матрицах: а) заготовку без боковых и торцовых заусенцев; б) уменьшенную разностенность; в) более высокую точность размеров по наружному диаметру; г) упрощенную наладку штамповочного инструмента и, как следствие, сокращенную норму расхода металла (до 5%), более высокую производительность (до 20%) и меньший процент брака.

Штамповка в матрицах (фиг. 3), наряду с недостатками дает возможность получать более разнообразные конфигурации кольцевых заготовок, а также облегчает штамповку заготовок, требующих применения наборного перехода при формовке (штамповка в трех и более ручьях).

Проектирование технологии. Заготовки колец подшипников, получаемые штамповкой на ГКМ, по своей конструкции разделяются на типовые формы, каждую из которых применяют для определенной номенклатуры колец, отличающихся не только размерами, но и некоторыми конструктивными признаками. При составлении чертежа заготовки кольца выбор типовой формы и назначение размеров следует производить по табл. 10.

Диаметр исходного прутка $d_{пр}$ определяют предварительно по формуле

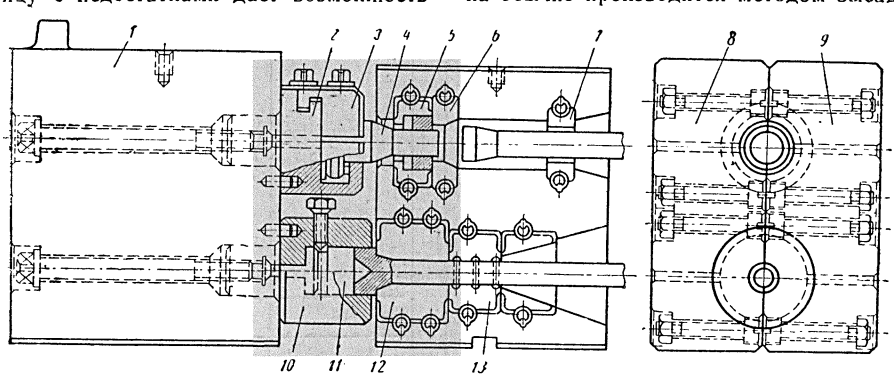
$$d_{пр} = 0{,}985 d_{з\min},$$

где $d_{з\min}$ — наименьший диаметр отверстия заготовки.

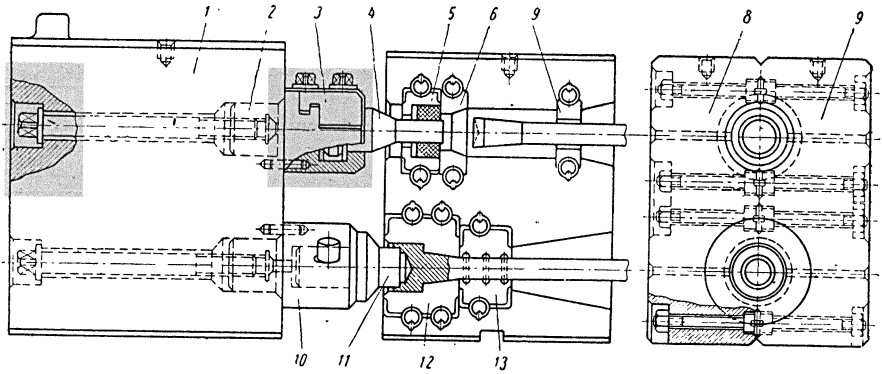
Длину выступающей части прутка ($L_в$), равную расстоянию от зеркала полуматриц формирования до подвижного упора ГКМ, и необходимую для формообразования заготовки, определяют по формулам, приведенным в табл. 38.

Отношение $\frac{L_в}{d_{пр}}$ служит основным критерием выбора метода штамповки и количества ручьев в штампе:

1) при $0{,}9 \leqslant \frac{L_в}{d_{пр}} \leqslant 1{,}5 \div 1{,}8$ штамповка обычно производится методом высад-



Фиг. 2. Штамп для штамповки кольцевых заготовок на ГКМ с высадкой в пуансоне: *1* — блок пуансонов; *2* — пуансонодержатель прошивного пуансона; *3* — крышка пуансонодержателя; *4* — прошивной пуансон; *5* — полуматрица поддержки; *6* — полуматрица отрезная; *7* — полуматрица направляющая; *8* — блок матрицы левый; *9* — блок матрицы правый; *10* — обойма; *11* — формирующий пуансон; *12* — полуматрица формирования; *13* — полуматрица зажимная.



Фиг. 3. Штамп для штамповки кольцевых заготовок на ГКМ высадкой в матрицах: *1* — блок пуансонов; *2* — пуансонодержатель прошивного пуансона; *3* — крышка пуансонодержателя; *4* — прошивной пуансон; *5* — полуматрица поддержки; *6* — полуматрица отрезная; *7* — блок матрицы правый; *8* — блок матрицы левый; *9* — полуматрица направляющая; *10* — пуансонодержатель пуансона формирования; *11* — формирующий пуансон; *12* — полуматрица формирования; *13* — полуматрица зажимная.

ки в пуансоне в двухручьевом штампе (один формовочный переход);

2) при $1{,}8 < \frac{L_в}{d_{пр}} \leqslant 3$ штамповка производится в трехручьевом штампе (два формовочных перехода) как методом высадки в пуансоне, так и методом штамповки в матрицах; возможность высадки в пуансоне за два формовочных перехода определяется дополнительным условием

$$\frac{H_з^2}{(D_{з\min} - d_{з\max})\, d_{з\max}} \leqslant 1{,}6 \div 1{,}8,$$

где $H_з$ — высота заготовки; $D_{з\,\min}$ — наименьший наружный диаметр заготовки; $d_{з\max}$ — наибольший диаметр отверстия заготовки;

3) при $\frac{L_в}{d_{пр}} > 3$ — штамповка производится в матрицах в трехручьевом штампе с увеличением диаметра предварительно выбранного прутка на 1—5 *мм*. Инструмент первого и второго ручьев в этом случае осуществляет пережим прутка.

Выбор ГКМ для штамповки кольцевых заготовок может быть произведен ориентировочно в соответствии с данными, приведенными в табл. 39.

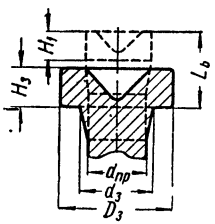
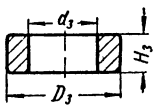
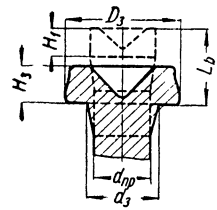
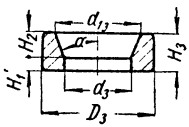
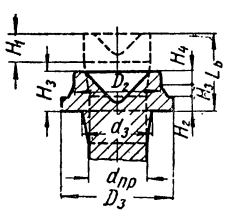
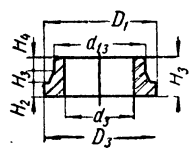
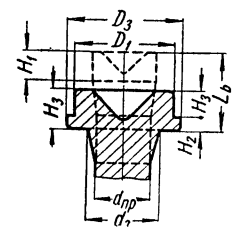
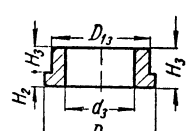
Более точно выбор ГКМ может быть произведен на основании расчета потребного усилия штамповки по формуле

$$P = KD_{з\max}^2,$$

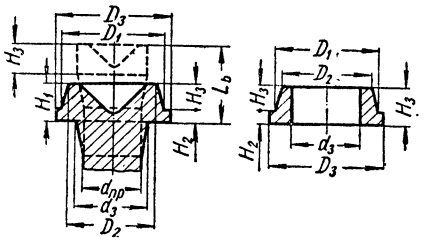
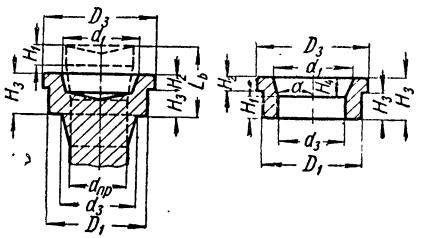
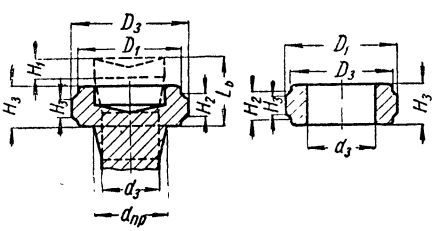
где P — усилие штамповки в *т*; $D_{з\max}$ — наибольший наружный диаметр заготовки в *мм*; K — коэффициент, зависящий от геометрических параметров заготовки, метода штамповки и температуры окончания ковки, значения которого даны в табл. 40.

Нагрев прутков перед штамповкой и охлаждение заготовок. Прутки выбранного диаметра перед запуском в производство рекомендуется предварительно рассортировать на три группы, чтобы отклонения диаметров в каждой из них не превышали $^1/_3$ поля допуска, предусмотренного по ГОСТ для данного размера. Каждую размерную группу обрабатывают отдельной партией, чем достигают сокращения весовых отклонений заготовок и повышения их точности. Нагрев прутков осуществляют в пламенных печах щелевого типа, работающих на жидком (мазут, нефть) или газообразном (природный газ, городской газ) топливе. Интервал ковочных температур для стали ШХ15 или ШХ15СГ находится в пределах 1050—850° С. Указанные марки сталей для сечений прутков, применяемых при штамповке кольцевых заготовок на ГКМ, нагревают до ковочных температур при форсированных режимах работы нагревательных устройств без опасения образования трещин. Для определения количества одновременно нагреваемых прутков в печи следует пользоваться номограммой, приведенной на фиг. 4. В правой части номограммы по

38. Определение длины выступающей части прутка и черного веса заготовок при штамповке на ГКМ

Заготовка		Формулы	Значение H_1	
После формовки	После просечки		Штамповка в пуансоне	Штамповка в матрицах
		$Q_з = V_з\gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\,(D_з^2 - d_з^2)\,H_з$ кГ; $L_в = \frac{Q_з}{q_{пог}} + H_1$ мм	$H_1 = 0{,}8H_з$	$H_1 = 0{,}6H_з$
		$Q_з = V_з\gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_з^2 H_з - \frac{H_з}{3}\left(d_{1з}^2 + d_{1з}d_з + d_з^2\right) - d_з^2 H_1'\right]$ кГ; $L_в = \frac{Q_з}{q_{пог}} + H_1$ мм	$H_1 = 0{,}8H_з$	$H_1 = 0{,}4H_з$
		$Q_з = V_з\gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_з^2 H_2 + \frac{H_з}{3}\left(D_1^2 + D_1 d_{1з} + d_{1з}^2\right) + d_{1з}^2 H_4 - d_з^2 H_з\right]$ кГ; $L_в = \frac{Q_з}{q_{пог}} H_1$ мм	$H_1 = 0{,}8H_з$	$H_1 = 0{,}6H_з$
		$Q_з = V_з\gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left(D_з^2 H_2 + D_{1з}^2 H_з - d_з^2 H_з\right)$ кГ; $L_в = \frac{Q_з}{q_{пог}} + H_1$ мм	$H_1 = 0{,}8H_з$	$H_1 = 0{,}6H_з$

Продолжение табл. 38

Заготовка		Формулы	Значение H_1	
После формовки	После прессчки		Штамповка в паунсоне	Штамповка в матрицах
		$Q_з = V_з\gamma =$ $=6{,}165\cdot10^{-6}\left[D_з^2H_2+\right.$ $+\frac{H_з}{3}\left(D_1^2+D_1D_2+\right.$ $\left.\left.+D_2^2\right)-d_з^2H_з\right]$ кГ; $L_в=\frac{Q_з}{q_{пог}}+H_1$ мм	$H_1=0{,}8H_з$	$H_1=0{,}6H_з$
		$Q_з = V_з\gamma =$ $=6{,}165\cdot10^{-6}\left[D_з^2H_2+\right.$ $+D_1^2H_з-\frac{H_4}{3}\left(d_1^2+\right.$ $+d_1d_3+d_з^2)-$ $\left.-d_з^2H_1\right]$ кГ; $L_в=\frac{Q_з}{q_{пог}}+H_1$ мм	Не штампуется	$H_1=0{,}4H_з$
		$Q_з = V_з\gamma =$ $=6{,}165\cdot10^{-6}\left[\left(D_з^2-\right.\right.$ $\left.-d_з^2\right)H_з+$ $+\frac{H_2-H_з}{3}\left(D_1^2+\right.$ $+D_1D_з+D_з^2)+$ $\left.+D_1^2H_з-D_з^2H_2\right]$ кГ; $L_в=\frac{Q_з}{q_{пог}}+H_1$ мм	Не штампуется	$H_1=0{,}5H_з$

39. Эксплуатационные характеристики ГКМ применяемых для штамповки заготовок колец подшипников

Фирма или завод-изготовитель ГКМ	Модель	Усилие P в m	Максимальный допускаемый наружный диаметр заготовки в *мм*		Количество заготовок, снимаемых с ГКМ, в шт/час
			в пуансоне	в матрицах	
«Газенклевер»	2″	260	61,0	65,0	370—440
»	3″	350	80,0	83,0	270—370
»	$3^1/_2$″	400	85,0	90	250—370
НКМЗ	4″	650	106,0	113,0	180—310
»	5″	900	127,0	134,0	150—250
»	6″	1100	140,0	150,0	100—215
«Газенклевер» и «Эджскс»	7″	1800	180,0	190,0	100—125
НКМЗ «Нешнел»	$7^1/_2$″	1800	200,0	210,0	100—150
НКМЗ	8″	2000	210,0	220,0	75—100
«Нешнел»	9″	2300	220,0	230,0	55—700

Примечание. Для заготовок с отношением $2 > \frac{H_з}{s_з} > 5$ и заготовок наружных колец конических роликоподшипников, наружный диаметр которых близок к максимально допустимому, ГКМ выбирается ближайшего большего размера.

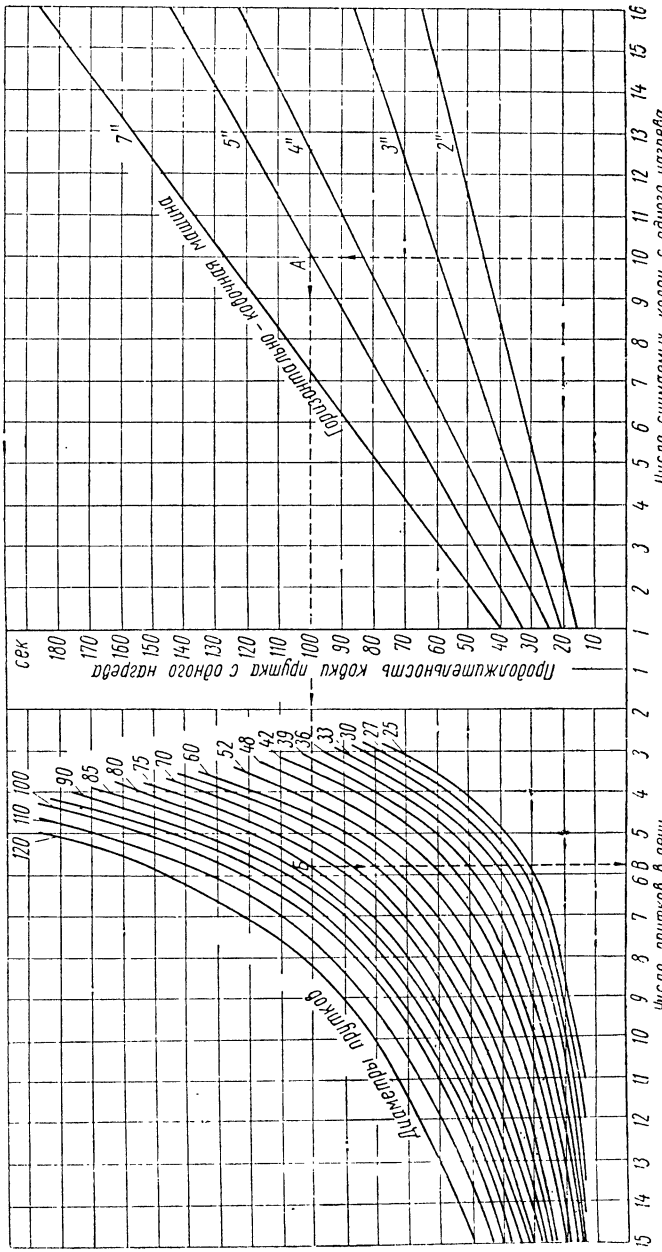
40. Значения коэффициента K

Отношение высоты заготовки к толщине стенки	Штамповка в пуансоне				Штамповка в матрице			
	Температура окончания ковки в °С							
	850	900	950	1000	850	900	950	1000
$\frac{H_з}{s_з} < 5$	0,056	0,045	0,039	0,033	0,050	0,040	0,035	0,030
$\frac{H_з}{s_з} > 5$	0,067	0,056	0,047	0,040	0,060	0,050	0,042	0,036

оси x отложено число заготовок, получаемых из прутка с одного нагрева в шт., по оси y — продолжительность ковки прутка с одного нагрева в сек.; прямыми линиями нанесены условные обозначения мощности ГКМ.

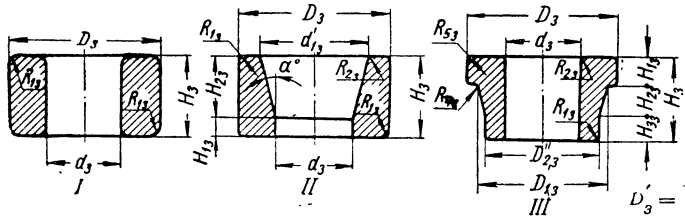
В левой части по оси x отложено число прутков, которое необходимо одновременно нагревать в печи для бесперебойной работы ГКМ, а кривые определяют диаметры нагреваемых прутков. Для определения количества одновременно нагреваемых прутков в печи устанавливают число фактически снимаемых заготовок с одного нагрева прутка на машине данной условной мощности. Дальнейший порядок пользования номограммой указан пунктирной линией на самой номограмме. Полученное дробное число прутков округляют до большего целого. К определенному по номограмме числу одновременно нагреваемых в печи прутков допускается загрузка одного-двух холодных прутков. Ввиду склонности хромистых сталей типа ШХ15 к образованию карбидной полосчатости охлаждение отштампованных на ГКМ заготовок должно быть ускоренным. Это достигается применением специальных форсунок для распыления охлаждающей воды, которые устанавливают у приямков ГКМ.

Проектирование сменного рабочего инструмента для штамповки заготовок колец на ГКМ. Конструирование сменных рабочих деталей штампов ГКМ при штамповке заготовок колец методами высадки в пуансоне и в матрицах производят в соответствии с данными, приведенными в табл. 41—43, с использованием графика (фиг. 5), устанавливающего значения линейного расширения λ стали ШХ15 и ШХ15СГ в интервале ковочных температур.



Фиг. 4. Номограмма для определения количества одновременно нагреваемых в печи прутков. Температура ковки 1050—850° С. Материал прутков — сталь ШХ15.

Типовые формы заготовок колец.

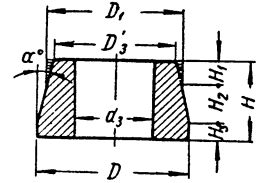


$D = D_з - (0{,}5 \div 1)$ *мм*;

$D_1 = D'_з + 2 \operatorname{tg} \alpha H_1$ *мм*;

$D'_з = \sqrt{D_з^2 - d_{1з}^2 + d_з^2}$ *мм*

Промежуточный чертеж поковки наружного конического кольца для проектирования инструмента



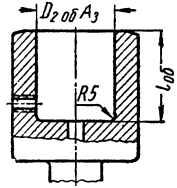
$H_з = 2 \div 3$ *мм*;

$H_1 = 4 \div 8$ *мм*;

$H = H_з$

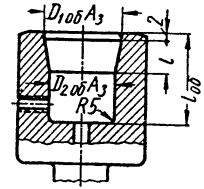
Тип ГКМ	Усилие на высадочном ползуне P в m	Максимально допустимый диаметр штампуемой поковки $D_з$ max в *мм*	Глубина полости обоймы $l_{об}$ в *мм*	Ширина бурта пуансона формирования a в *мм*	Ширина выточки для крепления пуансона формирования b в *мм*	Зазор между диаметром полости обоймы и пуансоном формирования z в *мм*	Высота подъемной части матрицы формирования K_1 в *мм*	Зазор между прошивной матрицей и прошивным пуансоном z_1 в *мм*	Избыточная глубина рабочей полости матрицы поддержки n в *мм*	Величина фаски заходной части матрицы поддержки L в *мм*	Величина входа прошивного пуансона в прошивную матрицу a_1 в *мм*
2″	260	61	70	12	10	0,2	15—20	0,7	7	5	5
3″	350	80	90	15	12	0,2	15—25	0,8	7	10	5
4″	650	106	112	18	15	0,3	20—35	0,9	10	15	6
5″	900	127	130	25	20	0,4	20—45	1,0	10	15	8
6″	1100	140	130	25	20	0,6	20—45	1,0	10	15	8
7 ÷ 7½″	1800	180	170	28	25	0,7	20—60	1,2	12	20	8—10
8″	2000	200	170	28	25	0,7	20—60	1,2	12	20	8—10
9″	2300	210	—	—	—	—	—	1,2	12	20	8—10

для формы I



$D_{2об} = D_з + \lambda$;

Обойма для формы II

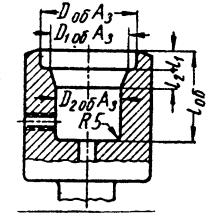


$D_{1об} = D_з + \lambda$;

$D_{2об} = D_{1з} + \lambda$;

$l = H_2$

для формы III



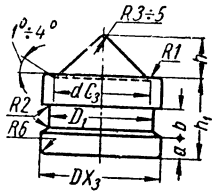
$D_{об} = D_з + \lambda$;

$D_{1об} = D_{1з} + \lambda$;

$D_{2об} = D_{2з} + \lambda$.

Материал 5ХНВ, твердость *HRC* 37—42 или материал 50ХГС, твердость *HRC* 35—40

Пуансон формирования для форм I, II, III



Материал 5ХНВ, твердость *HRC* 37—42 или материал 50ХГС, твердость *HRC* 35—40

$D = D_{2об} - z$;

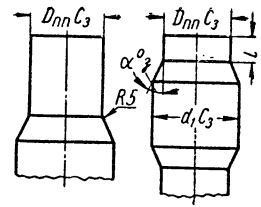
$D_1 = D - 10$ *мм*;

$d = D_{пп} + 0{,}5$ *мм*;

$h_1 = l_{об} - H_з + (1 \div 5)$ *мм*;

$h = (0{,}5 \div 0{,}85)\, H_з$.

Прошивной пуансон

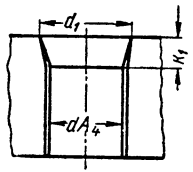


Материал ЭИ-160, твердость *HRC* 40—60

$D_{пп} = d_з + \lambda - (0{,}2 \div 0{,}5)$ *мм*;

$d_1 = d_{1з} + \lambda$; $\quad l = H_{1з} + a_1$.

Матрица формирования для форм I, II, III

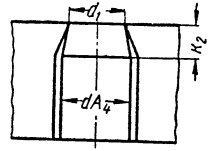


Материал 50ХГС, твердость *HRC* 30—40 или материал 50ХНВ, твердость *HRC* 37—42

$d = d_{пр} + \lambda$;

$d_1 = d_{мо} - 0{,}2$ *мм*.

Матрица обрезки для форм I, II, III



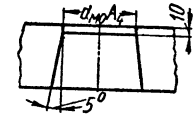
Материал ЭИ-160, твердость *HRC* 40—45

$d = d_{пр} + \lambda$;

$d_1 = d_{мо}$

Пережим прутка в *мм*	1	2	3	4	5
K_2	10	15	20	25	30

Матрица обрезки для форм I, II, III



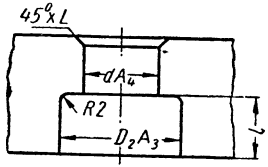
Материал ЭИ-160, твердость *HRC* 40—45

$d_{мо} = D_{пп} + z_1$

Матрица поддержки

Материал ШХ15, твердость *HRC* 38—45

для форм I, II

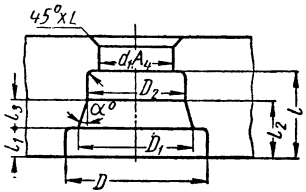


$D_2 = D_{2об} + 0{,}1$ *мм*;

$l = H_з + n$;

$d = D_{пп} + z_1$;

для формы III



$D = D_{об} + 0{,}1$ *мм*;

$D_1 = D_{2об} + 2 \operatorname{tg} \alpha^\circ l_3$;

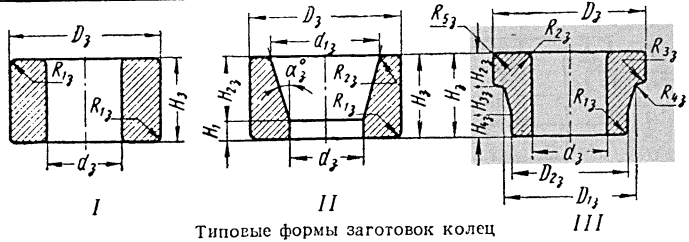
$D_2 = D_{2об} + 0{,}1$ *мм*;

$d_1 = D_{пп} + z_1$;

$l = H_з + n$;

$l_1 = H_{2з} + 3$ *мм*;

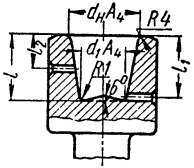
$l_2 = H_{3з} + H_з$



Типовые формы заготовок колец

Тип ГКМ	Усилие на высадочном ползуне P в m	Максимально допустимый диаметр штампуемой поковки $D_{з\,max}$ в *мм*	Зазор между прошивным пуансоном и матрицей z_1 в *мм*	Избыточная глубина рабочей полости матрицы поддержки n в *мм*	Величина входа прошивного пуансона в прошивную матрицу a в *мм*	Зазор для беспрепятственного входа прошивного пуансона в полость поковки N в *мм*	Зазор между пуансоном и матрицей формирования z в *мм*	Величина входа пуансона формирования в матрицу формирования A в *мм*	
								2 ручья	3 ручья
2″	260	65	0,7	7	5	0,5	0,6	10	35
3″	350	83	0,8	7	5	0,5	0,7	10	40
4″	650	113	0,9	10	6	0,6	0,8	10	45
5″	900	134	1,0	10	8	0,7	0,8	10	50
6″	1100	150	1,0	10	8	0,7	0,8	10	50
7″—7½″	1800	190	1,2	12	8—10	0,8	1,0	10	50
8″	2000	210	1,2	12	8—10	1,0	1,0	10	50
9″	2300	220	1,2	12	8—10	1,0	1,0	10	50

Обойма первой осадки для форм I и III



Материал 5ХНВ, твердость *HRC* 37—42 или материал 50ХГС, твердость *HRC* 35—40

$$d_н = D_з - (0{,}5 \div 1{,}0)\ мм$$

$$d_1 = d_{мо} + (0{,}5 \div 1{,}0)\ мм;$$

$$l = \frac{V_н}{0{,}262\left(d^2 + dd_1 + d_1^2\right)} - 4\ мм;$$

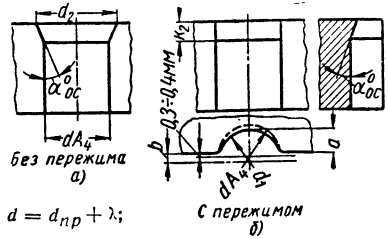
$$l_1 = l - 2{,}5\ мм;$$

$$l_2 = 0{,}5\,l$$

где $V_н$ — объем металла, необходимый для заполнения рабочей полости штампа на второй операции

Матрица первой осадки для форм I и III

Материал ШХ15, твердость *HRC* 38—45



$$d = d_{пр} + \lambda;$$

$$d_2 = d_{1мф};$$

$$\alpha_{ос} = {}^{\circ}_{мф};$$

$$d = d_{пр} + \lambda;$$

$$b = 0{,}5d_1 - a; \qquad d_1 = \frac{d_2 + 4a^2}{4a}$$

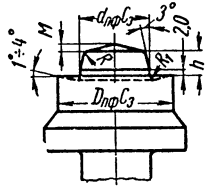
$$a = \frac{S}{1{,}57\,d};$$

S — площадь сечения прошивного пуансона

$$\alpha_{ос} = \operatorname{arctg}\frac{0{,}5\,(d - d_1) + b - (0{,}3{-}0{,}4)\ мм}{K_2}$$

Величина пережима в *мм*	1	2	3	4	5
K_2 в *мм*	10	15	20	25	30

Пуансон формирования для форм I и III



Материал 50ХГС, твердость *HRC* 37—42 или материал 5ХНВ, твердость *HRC* 37—42

$D_{пф} = D_{мф} - z;$

$d_{пф} = d_{пр} + N;$

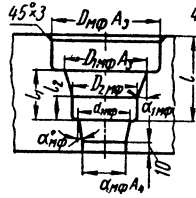
$M = 0{,}05\, d_{пф};$

$h = 0{,}4 \div 0{,}5\, H_з;$

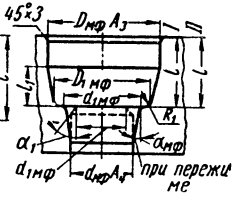
$R = 0{,}4\, h$

Матрица формирования

для формы III



для форм I, II



Материалы 50ХГС, твердость *HRC* 35—40 или материал 5ХНВ, твердость *HRC* 37—42.

для формы III

$D_{мф} = D_з + \lambda;\ d_1{}_{мф} = d_{мо} - 0{,}2$ *мм*;

$D_{1мф} = D_{1з} + \lambda;\ l = H_з + A;$

$D_{2мф} = D_{2з} + \lambda;\ l_1 = H_з - H_{2з};$

$d_{2мф} = d_{пр} + \lambda;\ l_2 = H_{4з};$

для форм I, II

$D_{мф} = D_з \min + \lambda;\ l_1 = H_з;$

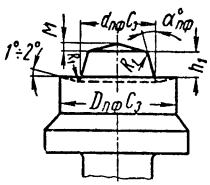
$D_1{}_{мф} = D_{мф} - z;\ l = H_з + A \ldots$ I;

$d_{мф} = d_{пр} + \lambda;\ l = H_з + 10 \ldots$ II;

$d_1{}_{мф} = d_{мо} - 0{,}2$ *мм*; $R_1 = R_{1з};$

$d1\ мф = d - (1 \div 5)$ *мм*; $\alpha_1 = \alpha_{ос} + 1°$ (при пережиме)

Пуансон формирования для формы II



Материал 50ХГС, твердость *HRC* 37—42 или материал 5ХНВ, твердость *HRC* 37—42

$D_{пф} = D_{мф} - z$

$d_{пф} = d_{1з} + \lambda$

$M = 0{,}05\,(d_{пф} - 2h_1 \operatorname{tg} \alpha_з)$

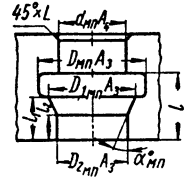
$h_1 = (0{,}5 \div 0{,}6)\, H_з;$

$R_1 = (0{,}8 \div 0{,}9)\, h_1;$

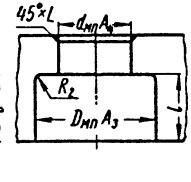
$\alpha°_{пф} = \operatorname{arctg} \dfrac{d_{1з} - d_з}{2h_1}$

Матрица поддержки

для формы III



для форм I, II



Материал ШХ15, твердость *HRC* 38—45

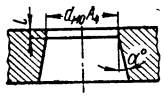
$D_{мп} = D_{мф} + 0{,}1$ *мм*; $l = H_з + n$

$D_1{}_{мп} = D_1{}_{мф} + 0{,}1$ *мм*; $l_1 = l_{1мф} - 0{,}5$ *мм*;

$D_2{}_{мп} = D_2{}_{мф} + 0{,}1$ *мм*; $l_2 = l_2{}_{мф}$;

$d_{мп} = d_{пп} + z_1;$ $\alpha°_{мп} = \alpha°_1{}_{мф};$

Матрица обрезки для форм I, II, III



Материал ЭИ-160, твердость *HRC* 40—46

$d_{мо} = d_{пп} + z_1$

$l = 10$ *мм*; $\alpha = 5°$

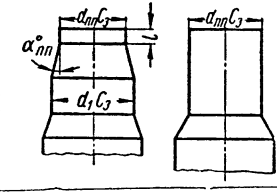
при пережиме $l = 3$ *мм*

$\alpha° = \alpha°_1 + 5°,$

где $\alpha°_1$ — угол матрицы формирования при пережиме

Прошивной пуансон

для формы II для форм I, III



Материал ЭИ-160, твердость *HRC* 40—46

$d_{пп} = d_з + \lambda - (0{,}2 \div 0{,}5)_{доп}$

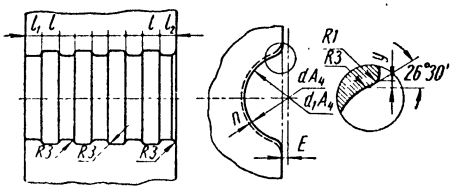
$d_1 = d_{1з} + \lambda + 2{,}0$ *мм*;

$l = H_{1з} + a;$

$\alpha° = \operatorname{arctg} \dfrac{d_{1з} - [d_з - (0{,}2 \div 0{,}5)_{доп}]}{2\,(H_з - H_{1з})}.$

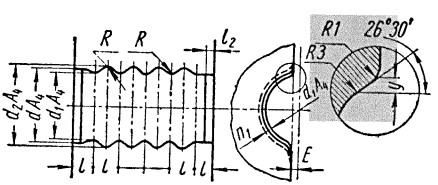
43. Проектирование зажимных полуматриц ГКМ

Полуматрицы зажима (плоские канавки)



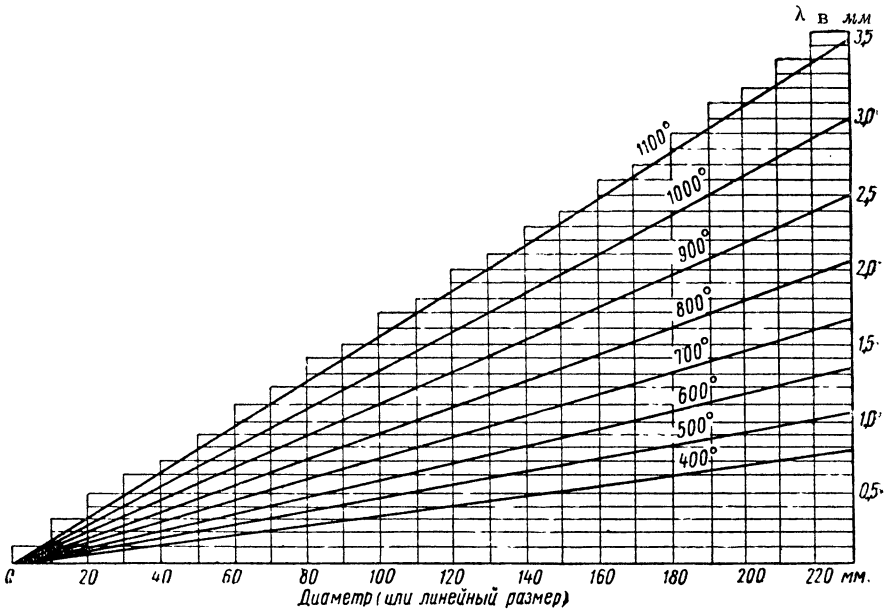
Материал ШХ15, твердость *HRC* 38—45
Размеры в *мм*
$d_1 = d + 2n$

Размеры	Тип ГКМ					
	2″	3″	4″	5″	6″	7″—9″
d	$d_{пр}$	$d_{пр}$	$d_{пр}-0{,}3$	$d_{пр}-0{,}3$	$d_{пр}-0{,}5$	$d_{пр}-0{,}5$
n	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0
l	10,0	10,0	12,0	13,0	13,0	14,0
l_1	12,5	10,0	12,0	10,0	10,0	14,0
l_2	12,5	10,0	11,5	11,5	11,5	12,4
y	2,0	3,0	3,0	3,5	4,0	5,0
E	0,65	0,7	0,75	0,80	0,85	0,9



Материал ШХ15, твердость *HRC* 38—45
$d = d_{пр} + \lambda$; $d_1 = d - n_1$; $d_2 = d + n_1$

Размеры	Тип ГКМ				
	2″	3″	4″	5″	7″—9″
n_1	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0
l	15	16	17	19	25
Число волн	4	5	5	5	5
l_1	7,5	5,0	11,25	8,75	13,7
l_2	3,75	1,0	7,0	4,0	7,5
R	14,3	8,5	8,0	8,0	10,76



Фиг. 5. Величина линейного расширения λ стали ШХ15 при различных температурах.

Свободная ковка заготовок колец подшипников

В отечественной практике применение свободной ковки обусловливается необходимостью получения заготовок колец крупногабаритных подшипников, которые не могут быть изготовлены штамповкой на ГКМ с последующей раскаткой, а также мелкосерийным или индивидуальным производством подшипников, при котором изготовление заготовок другими методами неэкономично. В большинстве случаев оба эти условия дополняют друг друга. Если же крупногабаритные подшипники имеют серийный выпуск, то, как правило, свободная ковка является промежуточной операцией технологии изготовления заготовок колец, завершающейся горячей раскаткой заготовок.

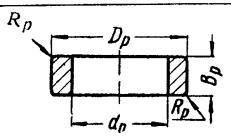
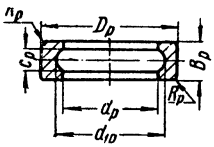
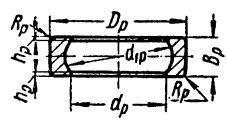
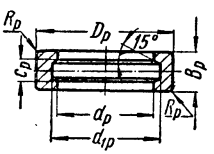
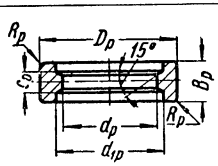
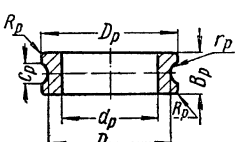
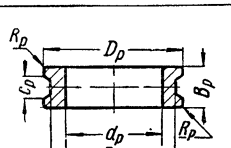
Методы свободной ковки кольцевых заготовок, применяемые в отечественной промышленности, позволяют получать кольца простейшей цилиндрической формы. Таким образом, последующая раскатка обеспечивает возможность изготовления заготовок колец только с двумя плоскостями симметрии (группа I по табл. 44, 45).

Технологический маршрут свободной ковки представлен в табл. 46.

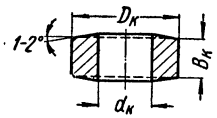
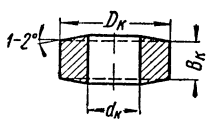
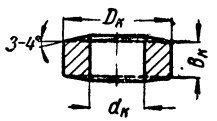
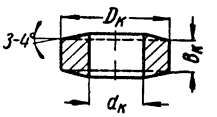
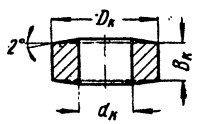
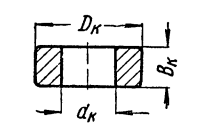
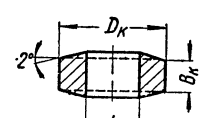
Способ холодной ломки исходных штанг или блюмсов при получении штучных заготовок для последующей ковки более экономичен. Холодная ломка исключает непроизводительные потери металла на угар и обсечки, дает ровный торец и более точный размер по длине заготовок, а также повышает производительность этой операции на 25—30% по сравнению с кузнечной рубкой.

Эта операция выполняется на механическом прессе, оснащенном специальным приспособлением, состоящим из «плавающего рольганга» и штампа, схематически показанного на фиг. 6. Штанги или блюмсы, подлежащие ломке, размечают по длине на расчетные отрезки в соответствии с фактически измеренным размером поперечного сечения, и надрезают автогеном на глубину 5—10 *мм* по местам разметки. При подготовке блюмсов

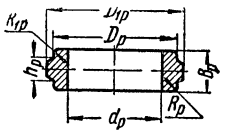
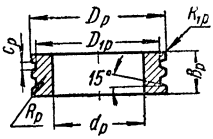
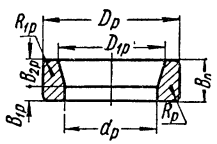
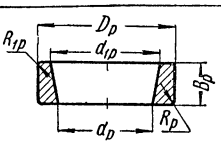
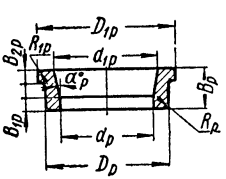
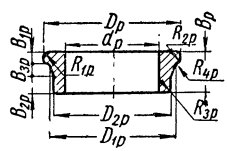
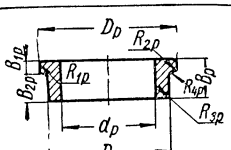
44. Определение черного веса раскатанных поковок, формы, размеров и веса

Форма раскатанной заготовки	Формулы для определения веса раскатанной заготовки Q_p в кг
	$Q_p = \left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p$
	$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p - 0{,}5\left(\frac{\pi d_{1p}^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) c_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p - 0{,}5\left(d_{1p}^2 - d_p^2\right) c_p\right]$
	$Q_p = \left[\frac{\pi D_p^2}{4} B_p - \frac{\pi\left(B_p - 2h_p\right)}{12} \times \left(2d_{1p}^2 + d_p^2\right) - \frac{\pi D_p^2}{4} 2h_p\right] \gamma = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_p^2 B_p - \frac{B_p - 2h_p}{3} \times \left(2d_{1p}^2 + d_p^2\right) - d_p^2\, 2h_p\right];$ B_p и h_p берутся по максимальным размерам
	$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p - \left(\frac{\pi d_{1p}^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) c_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p - \left(d_{1p}^2 - d_p^2\right) c_p\right]$
	$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_{1p}^2}{4}\right) B_p + \left(\frac{\pi d_{1p}^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) c_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[\left(D_p^2 - d_{1p}^2\right) B_p + \left(d_{1p}^2 - d_p^2\right) c_p\right]$
	$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p - \left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi D_{1p}^2}{4}\right) c_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p - \left(D_p^2 - D_{1p}^2\right) c_p\right]$
	$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p - \left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi D_{1p}^2}{4}\right) c_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p - \left(D_p^2 - D_{1p}^2\right) c_p\right]$

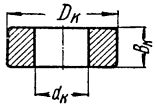
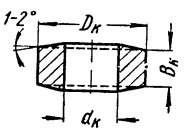
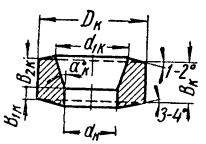
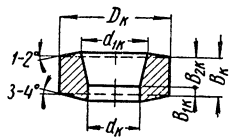
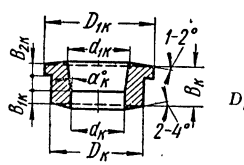
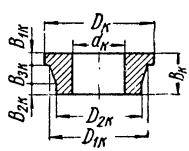
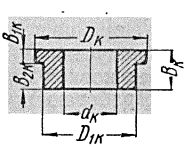
заготовок I группы под раскатку, полученных штамповкой на ГКМ

Форма заготовки под раскатку	Формулы для определения размеров в *мм* и веса заготовок под раскатку Q_k в *кГ*
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $D_к = \sqrt{D_p^2 - d_p^2 + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к\ (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$ $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$ $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 5{,}75)\, d_p$ $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$ $D_к = \sqrt{\frac{P_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$

45. Определение черного веса раскатанных поковок, формы, размеров и

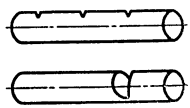
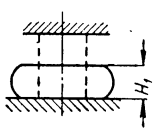
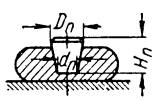
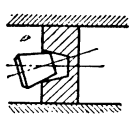
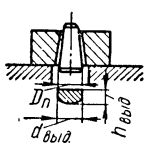
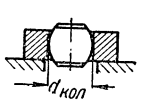
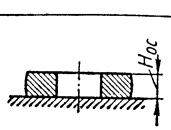
№ группы	Форма раскатанной заготовки	Формулы для определения веса раскатанной заготовки Q_p в кГ
I		$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p + \left(\frac{\pi D_{1p}^2}{4} - \frac{\pi D_p^2}{4}\right) h_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6} \left[\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p + \left(D_{1p}^2 - D_p^2\right) h_p\right]$
I		$Q_p = \left[\left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi d_p^2}{4}\right) B_p - \left(\frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi D_{1p}^2}{4}\right) 2c_p\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6} \left[\left(D_p^2 - d_p^2\right) B_p - \left(D_p^2 - D_{1p}^2\right) 2c_p\right]$
II		$Q_p = \left[\frac{\pi D_p^2}{4} B_p - \frac{\pi B_{2p}}{12}\left(D_{1p}^2 + D_{1p}d_p + d_p^2\right) - \frac{\pi d_p^2}{4} B_{1p}\right] \gamma = 6{,}165 \cdot 10^{-6} \left[D_p^2 B_p - \frac{B_{2p}}{3}\left(D_{1p}^2 + D_{1p}d_p + d_p^2\right) - d_p^2 B_{1p}\right]$
II		$Q_p = \left[\frac{\pi D_p^2}{4} B_p - \frac{\pi B_p}{12}\left(d_{1p}^2 + d_{1p}d_p + d_p^2\right)\right] \gamma =$ $= 6{,}165 \cdot 10^{-6} \left[D_p^2 B_p - \frac{B_p}{3}\left(d_{1p}^2 + d_{1p}d_p + d_p^2\right)\right]$
II		$Q_p = \left[\frac{\pi D_p^2}{4} B_p + \left(\frac{\pi D_{1p}^2}{4} - \frac{\pi D_p^2}{4}\right) B_{2p} - \frac{\pi (B_p - B_{1p})}{12} \times \left(d_{1p}^2 + d_{1p}d_p + d_p^2\right) - \frac{\pi d_p^2}{4} B_{1p}\right] \gamma = 6{,}165 \cdot 10^{-6} \times \left[D_p^2 B_p + \left(D_{1p}^2 - D_p^2\right) B_{2p} - \frac{B_p - B_{1p}}{3}\left(d_{1p}^2 + d_{1p}d_p + d_p^2\right) - d_p^2 B_{1p}\right]$
II		$Q_p = \left[\frac{\pi D_p^2}{4} B_{1p} + \frac{\pi B_{3p}}{12}\left(D_{1p}^2 + D_{1p}D_{2p} + D_{2p}^2\right) + \frac{\pi D_{2p}^2}{4} B_{2p} - \frac{\pi d_p^2}{4} B_p\right] \gamma = 6{,}165 \cdot 10^{-6} \left[D_p^2 B_{1p} + \frac{B_{3p}}{3}\left(D_{1p}^2 + D_{1p}D_{2p} + D_{2p}^2\right) + D_{2p}^2 B_{2p} - d_p^2 B_p\right]$
II		$Q_p = \left[\frac{\pi D_p^2}{4} B_{1p} + \frac{\pi D_{1p}^2}{4} B_{2p} - \frac{\pi d_p^2}{4} B_p\right] \gamma = 6{,}165 \cdot 10^{-6} \times \left(D_p^2 B_{1p} + D_{1p}^2 B_{2p} - d_p^2 B_p\right)$

веса заготовок под раскатку, полученных штамповкой на ГКМ

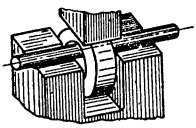
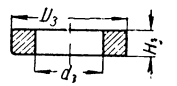
Форма заготовки под раскатку	Формулы для определения размеров в *мм* и веса заготовок под раскатку $Q_к$ в *кГ*
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75) d_p$; $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75) d_p$; $D_к = \sqrt{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6} B_к} + d_к^2}$; $B_к = B_p$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $d_{1к} = d_к + (d_{1p} - d_p)$; $D_к = \sqrt{\frac{1}{B_к}\left\{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6}} + \left[\frac{B_{2к}}{3}\left(d_{1к}^2 + d_{1к} d_к + d_к^2\right) + B_{1к} d_к\right]\right\}}$; $B_к = B_p$; $B_{1к} = B_{1p}$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $D_к = \sqrt{\frac{1}{B_к}\left\{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6}} + \left[\frac{B_{2к}}{3}\left(d_к^2 + d_{1к} d_к + d_к^2\right) + d_к^2 B_{1к}\right]\right\}}$; $B_к = B_p$; $B_{1к} = 4 \div 6$ *мм*;
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $D_{1к} = \sqrt{D_{p1}^2 - d_{p1}^2 + d_{1к}^2}$; $D_к = \sqrt{\frac{1}{B_к}\left\{\frac{Q_к}{6{,}165 \cdot 10^{-6}} + \left[\frac{B_к - B_{1к}}{3}\left(d_{1к}^2 + d_{1к} d_к^2\right) + d_к^2 B_{1к}\right]\right\}}$; $B_к = B_p$; $B_{1к} = B_{1p}$; $B_{2к} = B_{2p_{\max}}$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75)\, d_p$; $D_к = \sqrt{D_p^2 - d_p^2 + d_к^2}$; $D_{1к} = \sqrt{D_{1p}^2 - d_p^2 + d_к^2}$; $D_{2к} = \sqrt{D_{2p}^2 - d_p^2 + d_к^2}$; $B_к = B_p$; $B_{2к} = B_{2p}$; $B_{1к} = B_{1p_{\max}}$; $B_{3к} = B_{3p}$
	$Q_к = Q_p K_y$; $d_к = (0{,}6 \div 0{,}75) d_p$; $D_к = \sqrt{D_p^2 - d_p^2 + d_к^2}$; $D_{1к} = \sqrt{D_{1p}^2 - d_p^2 + d_к^2}$; $B_к = B_p$; $B_{1к} = B_{1p_{\max}}$; $B_{2к} = B_{2p}$

квадратного сечения надрезка производится по углу. Надрезанные штанги или блюмсы по плавающему рольгангу подаются в штамп с таким расчетом, чтобы надрез был совмещен с плоскостью сменного ножа, соответствующего по

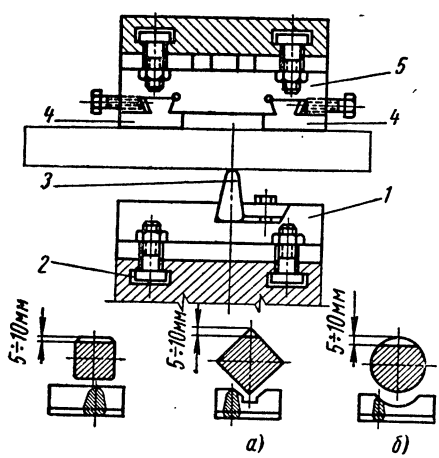
46. Технологический маршрут свободной ковки колец

№ операции	Наименование переходов	Эскизы переходов	Оборудование
1	Надрез — холодная ломка Нагрев 1050—850°— рубка		Пресс / Молот
2	Нагрев Осадка		Молот
2	Наметка под прошивку		Молот
	Обкатка		
	Прошивка		
	Калибровка		
	Вторая осадка		

Продолжение табл. 46

№ операции	Наименование переходов	Эскизы переходов	Оборудование
3	Нагрев, раздача на оправке и клеймение		Молот
4	Нагрев Правка		

форме профилю металла, подвергаемого ломке, и закрепленного на нижней плите. На ползуне закреплены две сменные опоры, которые при рабочем ходе пресса



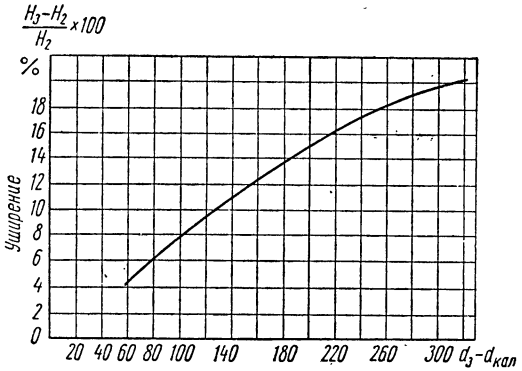
Фиг. 6. Схема штампа для холодной ломки блюмсов из стали ШХ15 и ШХ15СГ: *1* — подушка; *2* — стол пресса; *3* — сменный упор: *а* — для блюмса квадратного сечения; *б* — для блюмса круглого сечения; *4* — сменные опоры; *5* — державка.

нажимают на штангу и ломают ее. Рольганг, поддерживающий длинный конец штанги, амортизирует удар, возникающий во время ломки.

Штучные заготовки, полученные тем или иным способом, перед ковкой нагревают в камерных печах, работающих на газообразном или жидком топливе, до температуры начала ковки, которая для

сталей ШХ15 и ШХ15СГ равна 1050°. Все переходы первой операции ковки выполняют с одного нагрева, при этом для шарикоподшипниковых сталей температура конца ковки должна быть не ниже 850°.

Затем следует второй нагрев и осуществляется операция раздачи на оправке. Перед завершающей ковочной операцией — правкой — производится третий нагрев заготовки. Перед механической



Фиг. 7. Диаграмма уширений кольцевых заготовок при операции раздачи на оправке.

обработкой поковки поступают на рекристаллизационный отжиг, проводимый по соответствующим режимам в электропечах методического действия.

Проектирование технологии. Свободной ковкой изготовляют только кольцевые заготовки цилиндрической формы, поэтому чертеж заготовки составляется с учетом неизбежных кузнечных напусков и назначением припусков и допусков по табл. 11.

Вес исходной заготовки определяют по формуле

$$Q = Q_з + q_в + q_у ,$$

где слагаемые правой части равенства определяют по формулам и в соответствии с данными табл. 30.

Диаметр или сторону квадрата исходного металла устанавливают из условия $\frac{L_{пр}}{d_{пр}} = 1{,}5 \div 2$ по табл. 47.

Осадку исходной мерной заготовки производят с таким расчетом, чтобы перед прошивкой ее высота H_1 оказалась на 3—5 *мм* больше высоты готовой заготовки $H_з$. Диаметр прошиваемого отверстия $d_в$ выбирается в зависимости от габаритных размеров готовой заготовки ($D_з$ и $H_з$) по табл. 30.

Глубину наметки под прошивку, а также способ прошивки устанавливают в зависимости от высоты заготовки $H_з$ по значениям толщины выдры $h_в$, приведенным в табл. 30. Прошивка заготовок высотой более 40 *мм* производится на подкладном кольце за один переход. Для заготовок высотой более 40 *мм* предусматривается предварительная наметка коническим прошивнем, кантовка заготовки на 180° и окончательная прошивка с отделением выдры. После прошивки коническим прошивнем необходима калибровка отверстия для устранения его конусности, наличие которой неблагоприятно сказывается при выполнении операции раздачи на оправке. Диаметр отверстия заготовки после калибровки $d_к$ принимают равным большему диаметру конического прошивня.

Перед раздачей на оправке прошитая заготовка должна быть подвергнута дополнительной осадке в целях компенсации неизбежного уширения, сопутствующего этой операции. Высоту заготовки перед раздачей на оправке $H_{ос}$ устанавливают ориентировочно по графику, приведенному на фиг. 7, в зависимости от величины фактической раздачи, определяемой разностью $d_э - d_к$.

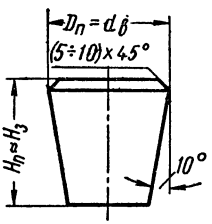
47. Размеры сечения исходного металла в зависимости от веса заготовок

Вес заготовки $Q_з$ в *кг*	Диаметр исходного металла в *мм*	Вес заготовки $Q_з$ в *кг*	Диаметр исходного металла в *мм*
3,2—4,2	70	94,2—125,6	200
4,7— 6,2	80	109,0—145,4	210
6,7— 8,9	90	123,4—167,2	220
9,2—12,3	100	143,3—191,0	230
12,3—16,4	110	162,8—217,0	240
15,9—21,1	120	184,0—245,3	250
20,2—28,1	130	207,0—276,0	260
31,2—41,5	140	231,8—309,0	270
39,7—53,0	150	258,5—344,6	280
48,2—64,1	>160	287,2—382,9	290
68,7—91,6	180	317,9—423,9	300

Выбор тоннажа ковочного молота [4], выполняющего осадку, прошивку, калибровку и дополнительную осадку перед раздачей на оправке, производят по переходу, требующему наибольшей энергии

удара. Таким переходом является дополнительная осадка перед раздачей на оправке.

Проектирование специализированного ковочного инструмента. Свободную ковку кольцевых заготовок производят обычно под плоскими бойками паровоздушных или пневматических молотов с применением универсального кузнечного инструмента. Исключение составляют конические прошивни, применение которых дает



Фиг. 8. Конический прошивень.

возможность свести к минимуму вес отхода на выдру.

Конструирование конических прошивней производят по значениям диаметра выдры $d_в$, приведенных в табл. 30, и в соответствии с фиг. 8.

Горячая штамповка заготовок колец подшипников на молотах

Штамповка кольцевых заготовок на молотах имеет в подшипниковой промышленности сравнительно ограниченное распространение вследствие низкого коэффициента использования металла, из-за неизбежных потерь на заусенцы и пленки при изготовлении заготовок, а также повышенных потерь металла в стружку при токарной обработке заготовок, имеющих невысокую точность и относительно большие кузнечные припуски.

Штамповка на молотах при использовании в качестве исходного металла мерных заготовок из сортового проката является технически оправданной для заготовок колец упорных шариковых и роликовых подшипников, изготовление которых методами штамповки на ГКМ крайне затруднено ввиду неблагоприятного соотношения определяющих геометрических параметров (при $\frac{H_э}{s_э} \leqslant 1{,}2$). Во всех остальных случаях штамповка на молотах является методом, дающим возможность наиболее просто использовать отходы металла, получающиеся в процессе производства заготовок колец штамповкой на ГКМ, свободной ковкой и вытачиванием из прутков, а также кольца, забракованные на всех стадиях их обработки.

Проектирование технологии. Штамповкой на молотах изготовляют заготовки колец, формы которых приведены в табл. 42. Чертеж заготовки составляется по чертежу готового кольца с необходимыми упрощениями формы и назначением припусков и допусков по табл. 12.

Вес исходной заготовки определяют по формуле

$$Q = Q_э + q_{обл} + q_{пл} + q_у,$$

где $Q_э$ подсчитывают по формулам, приведенным в табл. 48 для соответствующих форм поковок, остальные слагающие определяют по табл. 32.

При установлении толщины пленки ($h_{пл}$) по формулам, приведенным в табл. 32, следует учитывать возможность использования пленок после их прошивки в качестве заготовок для штамповки на молотах поковок колец меньших размеров. Поэтому в ряде случаев приходится отступать от рекомендуемых зависимостей и идти на преднамеренное увеличение толщины пленки за счет уменьшения наметки под прошивку или полного ее устранения; не исключена также возможность искусственного увеличения толщины пленки созданием специальной полости в нижнем штампе.

Диаметр исходной заготовки $d_{пр}$ для штамповки на молотах должен учитывать специфику конструкции молотового штампа, который делается обычно с замком при отсутствии площадки для осадки, а также технологические особенности резки металла на ножницах. Для получения качественного среза при резке на пресс-ножницах и облегчения правильной установки отрезанной заготовки в ручей молотового штампа $d_{пр}$ принимают равным $(0{,}65 \div 0{,}90)\ H_э$.

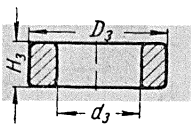
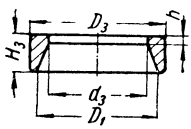
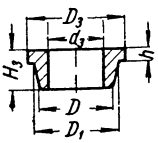
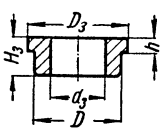
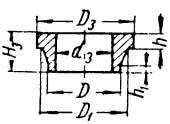
Тоннаж ножниц для резки заготовок определяют в зависимости от усилия резки по формуле

$$P = \frac{\pi}{4} d_э^2 \sigma_в,$$

где $\sigma_в$ для стали ШХ15 принимается равным $25 \div 30$ $кГ/мм^2$.

Выбор тоннажа паровоздушного молота двойного действия для штамповки

48. Определение черного веса заготовок, штампуемых на молотах

Форма заготовок	Формулы для определения черного веса заготовок
	$Q_з = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left(D_з^2 - d_з^2\right) H_з$ *кГ*
	$Q_з = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_з^2 H_з - \frac{H_з - h}{3}\left(D_1^2 + D_1 d_з + d_з^2\right) - d_з^2 h\right]$ *кГ*
	$Q_з = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_з^2 h + \frac{H_з - h}{3}\left(D^2{}_1 + DD_1 + D^2\right) - d_з^2 H_з\right]$ *кГ*
	$Q_з = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_з^2 h + D^2\left(H_з - h\right) - d_з^2 H_з\right]$ *кГ*
	$Q_з = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_з^2 h + \frac{H_з - h - h_1}{3}\left(D_1^2 + DD_1 + D^2\right) + D^2 h_1 - d_з^2 H_з\right]$ *кГ*

кольцевых заготовок ориентировочно производят по табл. 49.

49. Выбор тоннажа штамповочного молота

Наружный диаметр заготовки в *мм*	Вес падающих частей молота в *т*
50— 90	0,5
80—110	1,0
100—180	2,0
150—280	3,0

Более точно тоннаж молота для штамповки поковок заданных размеров рассчитывают по методике [4].

Тоннаж пресса для обрезки заусенцев и прошивки пленок определяют по усилию, потребному для выполнения этих операций с учетом возможных осложнений (недоштамповка, затупление режущих кромок инструмента, пониженная температура обрезаемых поковок и др.) по формулам:

для обрезки заусенца

$$P = 4D_з\left(h_{обл} + \Delta\right)\sigma_в \quad кГ,$$

для прошивки пленки

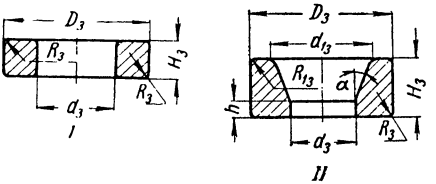
$$P = 4d_з\left(h_{пл} + \Delta + 5\right)\sigma_в \quad кГ,$$

где Δ — допуск на высоту заготовки в *мм* по табл. 12; $\sigma_в = 15$ *кГ/мм*^{2} — предел прочности стали ШХ15 при температуре обрезки и прошивки.

Проектирование рабочих элементов штампов. При проектировании ручья молотового штампа учитывается специфика штампуемых заготовок, которые в подавляющем большинстве являются относительно низкими ($\frac{H_з}{s_з} < 2{,}0$), что

50. Проектирование сменного инструмента

Типовые формы

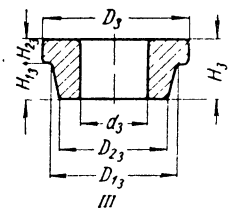


Нижний штамп		Верхний штамп	
Для типов I и II	Для типа III	Для типов I, II, III	
$D_1 = D_{3ном} + \lambda$	$D_2 = D_{3ном} + \lambda$*	$D_4 = D_2$	$H_3 = 0{,}5\ h_{обл}$
$D_2 = D_1 + 2\ \mathrm{tg}\ \alpha H_2$	$D = D_{13ном} + \lambda$	$D_5 = D_4 + 2\ l$	$H_5 = 8 \div 11$ *мм*
$D_3 = D_2 + 2\ (l + l_1)$	$D_1 = D_{23ном} + \lambda$	$D_6 = D_3$	$\alpha_3 = 3 \div 5°$
$H_2 = H_3 - h_{обл}$	$H_3 = H_3 - 0{,}5\ h_{обл}$	Для типов I и II	
$h_1 = \frac{D_1 - d_1}{2}\ \mathrm{tg}\ \alpha_1$	$H_4 = H_{23} - h_{обл}$	$d_3 = d_2 + 2\ H_4\ \mathrm{tg}\ \alpha_2$	$\alpha_4 = 3°$
$H_1 = 0{,}5\ h_{обл}$	$\mathrm{tg}\ \alpha = \frac{D - D_1}{2\ H_2}$	$H_4 = H_3 - h_{пл}$ $H_4 = H_3 - h$	$R_3 = 3 \div 10$ *мм*
$d_1 = d_3$	$R_1 = R_3$	$\alpha_2 = 3 \div 5°$	$d_3 = d_{3ном} + \lambda$
$R_1 = R_3$	$R_2 = R_{43}$	Для типа III	
$\alpha = 3 \div 7°$	$R_4 = 2 \div 3$ *мм*	$d_2 = d_3$	$h_1 = \frac{D_4 - d_2}{2}\ \mathrm{tg}\ \alpha_2$
$\alpha_1 = 3°$	$H_2 = H_{13}$	Для типа I	$d_2 = d_{3ном} + \lambda$
$\alpha_2 = 3 \div 5°$			$\alpha_2 = \alpha + (0 \div 3°)$**
			$R_2 = R_{13}$

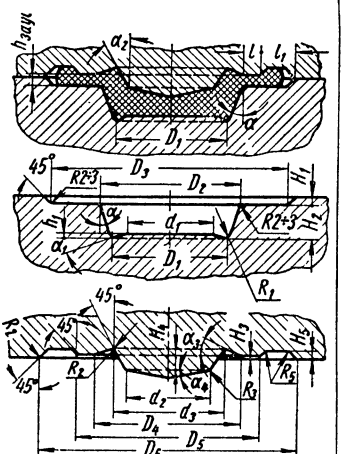
* λ — величина линейного расширения по фиг. 4. ** Для наружных конических колец.

для штамповки заготовок на молотах

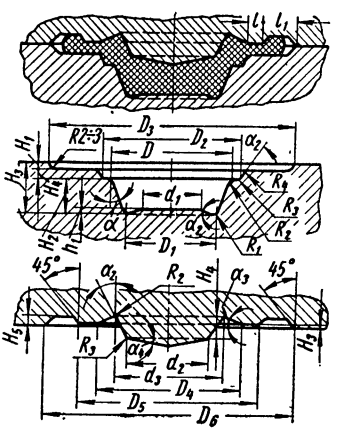
заготовок колец



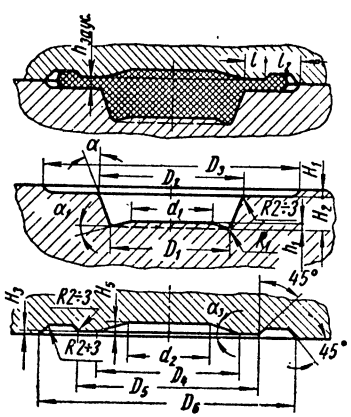
Для заготовок цилиндрических и наружных конических колец с H_3 более 10 *мм*



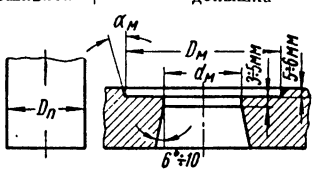
Для заготовок внутренних конических колец



Для заготовок цилиндрических колец с H_3 менее 10 *мм*

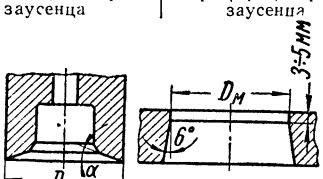


Пуансон прошивной | Матрица для прошивки донышка



$D_п = d_{3\,ном} + \lambda$ | $D_м = D_1 + 0{,}2 \div 0{,}5$ *мм*; $d_м = D_п + 0{,}6 \div 1{,}2$ *мм*; $\alpha_м = \alpha + 1 \div 3°$

Пуансон для обрезки заусенца | Матрица для обрезки заусенца



$D_п = D_м - 0{,}6 \div 1{,}2$ *мм*; | $D_м = D_2 - 0{,}2$ *мм*

позволяет делать несимметричный разъем и формовать поковку в нижней половине штампа. Это, в свою очередь, дает возможность использовать операцию прошивки пленки для одновременного вывертывания поковки и обеспечить тем самым получение кольцевых заготовок без штамповочных уклонов. В связи с этим форма и размеры ручья молотового штампа отличаются от формы заготовки, полученной после прошивки. Проектирование ручья молотового штампа для типовых форм заготовок производят по данным, приведенным в табл. 50. В этой же таблице даны зависимости, которыми следует руководствоваться при конструировании сменных рабочих деталей обрезных штампов.

Горячая раскатка заготовок колец подшипников

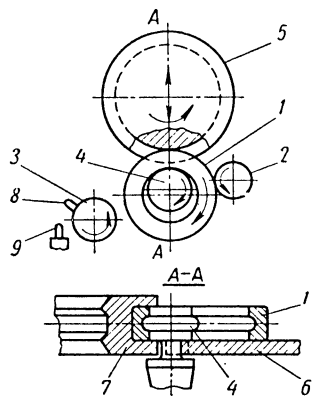
Раскаткой называется технологическая операция, при которой производится одновременное увеличение наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки.

Раскатка осуществляется прокаткой предварительно нагретых исходных кольцевых заготовок в пламенных или индукционных печах до температуры 950°—1000° одним из трех способов: а) открытым, б) полуоткрытым, в) закрытым.

Наиболее распространен открытый способ, схема которого показана на фиг. 9. Нагретая заготовка надевается на центральный раскаточный валок *4*. Вращающийся нажимной валок *5*, имеющий и возвратно-поступательное движение, при рабочем ходе вниз деформирует заготовку. Увеличивающаяся в диаметре заготовка достигает направляющего ролика *2*, обеспечивающего получение правильной формы кольца.

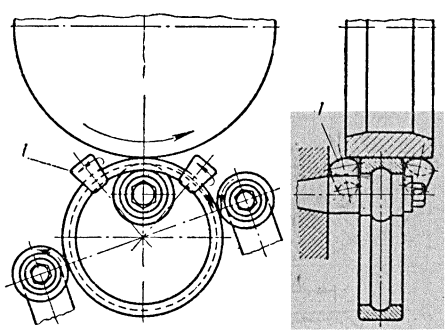
Процесс деформирования продолжается до момента соприкосновения заготовки с контрольным роликом *3*, начало вращения которого служит сигналом к перемещению нажимного валка, отходящего вверх в начальное положение. На этом процесс раскатки заканчивается.

Полуоткрытый способ раскатки, имеющий в отечественной подшипниковой промышленности ограниченное применение и показанный на фиг. 10, отличается от открытого способа лишь тем, что в схеме добавлены две пары свободно вращающихся конических роликов *1*, обжимающих торцы заготовки в процессе ее раскатки. Величину обжатия торцов можно регулировать. Этим достигают более точную высоту кольца и осу-



Фиг. 9. Схема открытого метода раскатки кольцевых заготовок: *1* — раскатываемая заготовка; *2* — направляющий ролик; *3* — контрольный ролик; *4* — центральный раскаточный валок; *5* — вращающийся нажимной валок; *6* — опорная планка; *7* — нажимной бандаж; *8* — отключатель; *9* — клапан.

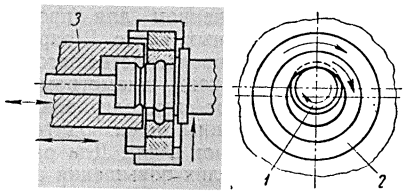
ществляют значительное перераспределение металла по сечению заготовки при ее деформировании.



Фиг. 10. Схема полуоткрытого метода раскатки кольцевых заготовок: *1* — свободно вращающиеся конические ролики.

Закрытый способ раскатки, приведенный на фиг. 11, в отечественной практике не получил распространения и в данное время не применяется. В отличие от предыдущих способов, деформирование заготовки производится между центральным валком *1* и внутренней ци-

линдрической поверхностью матрицы *2*, которая, кроме вращения, имеет возвратно-поступательное перемещение. При рабочем ходе деформирование заготовки внутренней поверхностью опускающейся матрицы *2* продолжается до тех пор,



Фиг. 11. Схема закрытого метода раскатки кольцевых заготовок: *1* — центральный валок; *2* — матрица; *3* — выталкиватель.

пока наружный диаметр ее не примет размера полости матрицы, а толщина стенки заготовки не достигнет заданной. После этого заготовка удаляется из матрицы выталкивателем *3*.

Широкое применение раскатки при изготовлении заготовок колец подшипников обусловливается следующими ее преимуществами: а) повышенной точностью геометрической формы кольцевых заготовок за счет уменьшения разностенности и овальности; б) приближением формы сечения заготовки к форме сечения готового кольца, в) использованием высокопроизводительного и экономичного метода производства кольцевых заготовок штамповкой на ГКМ, с последующей раскаткой, для получения заготовок значительно бо́льших размеров, чем это допускает мощность современных горизонтально-ковочных машин.

Уменьшение кузнечных припусков, напусков и допусков, а также увеличение выхода годного в кузнечных цехах дают значительную экономию металла. При этом некоторое возможное в ряде случаев увеличение трудозатрат в заготовительных цехах компенсируется повышением производительности при последующей токарной обработке более качественных заготовок.

Открытый метод раскатки, как наиболее универсальный, применяется при изготовлении заготовок колец подшипников, формы сечений которых представлены в табл. 44 и 45. Для форм сечений, имеющих две плоскости симметрии (группа I по табл. 44, 45), исходными служат заготовки цилиндрической формы, получаемые в зависимости от габаритных размеров штамповкой на ГКМ, свободной ковкой на молотах или специализированных осадочно-прошивных гидравлических прессах и в некоторых случаях центробежной отливкой. Более сложные формы, с одной диаметральной плоскостью симметрии (группа II по табл. 45), требуют применения исходных заготовок, форма сечения которых подобна форме раскатанной заготовки. Эту группу заготовок для раскатки, в зависимости от размеров, изготовляют штамповкой на ГКМ, молотах или кривошипных горячештамповочных прессах.

Проектирование технологии. Процесс раскатки (для улучшения геометрической формы заготовок и из соображений минимальных затрат времени на операцию) целесообразно вести при небольших степенях деформации исходных заготовок, назначая степень обжатия, равную отношению площадей поперечных сечений кольца до и после раскатки в пределах $K=1{,}3 \div 1{,}6$. Если же раскатка, кроме этого, предназначается для получения у заготовок благоприятного для последующей работы кольца направления макроструктуры (что особенно важно для колец тяжелонагруженных подшипников ответственного назначения), то степень обжатия, если это практически возможно, назначается в пределах $K=3 \div 4$.

При составлении чертежа раскатанной заготовки выбор типовой формы производят по табл. 44, 45, а назначение размеров — по табл. 10, 11.

Размеры заготовок для раскатки определяют из равенства объемов заготовок до и после раскатки, с учетом угара при нагреве под раскатку, на основании заданной степени обжатия K, считая высоту заготовок до и после раскатки постоянными:

1) $V_з = V_{рз} K_у$,

где $K_у$ — коэффициент, учитывающий потери на угар, принимается равным при нагреве в пламенных печах $K_у=1{,}015$ и при индукционном нагреве $K_у=1{,}007$.

2) $h_з = h_{рз}$; 3) $K=1{,}3 \div 1{,}6$.

Наружный и внутренний диаметры цилиндрической кольцевой заготовки под раскатку в общем случае определяют по формулам:

$$D_з = \frac{V_{рз} K_у}{\pi K s_{рз} h_{рз}} + s_{рз} K;$$

$$d_з = \frac{V_{рз} K_у}{\pi K s_{рз} h_{рз}} - s_{рз} K,$$

где $s_{рз}$ — толщина стенки кольцевой заготовки после раскатки, определяемая как частное от деления площади ее сечения на высоту $h_{рз}$.

Приведенные формулы справедливы при определении размеров заготовок цилиндрической формы для раскатки колец, имеющих две плоскости симметрии. При выборе размеров заготовок для раскатки колец, имеющих одну диаметральную плоскость симметрии, необходимо соблюдение равенства разности квадратов диаметров любых сечений, перпендикулярных оси кольцевой заготовки до и после раскатки.

При определении формы и размеров заготовок под раскатку, получаемых методом штамповки на ГКМ, следует также пользоваться табл. 44, 45. Как видно из этих таблиц, торцы отштампованных заготовок в ряде случаев делаются конусными (угол $\alpha_{кор} = 1 \div 4°$) во избежание их искажения в процессе раскатки, вызываемого различием в условиях течения слоев металла, прилегающих к нажимному и центральному валкам. После определения размеров заготовок по формулам, приведенным в табл. 44, 45, размер наружного диаметра подвергается корректировке в сторону уменьшения, что компенсирует избыточный объем металла, получившийся при назначении конусности торцов. Корректировка производится по формуле

$$D'_{рз} = D_{рз} - \Delta,$$

где $D'_{рз}$ — номинальный диаметр заготовки после корректировки; $D_{рз}$ — диаметр заготовки, полученный при расчете; Δ — допускаемое отклонение на данный размер, определяемое по табл. 10.

Выбор раскаточного оборудования, применяемого в отечественной практике, производится по его эксплуатационным характеристикам, приведенным в табл. 51.

Раскатку заготовок колец диаметром свыше 700—800 *мм* в Советском Союзе производят по технологии и на оборудовании, предназначенном для прокатки бандажей паровозных колес. В зарубежной практике при производстве заготовок колец подшипников диаметром до 1300 *мм* применяют специализированные раскаточные машины производительностью до 60 заготовок в час. Для раскатки заготовок, в целях повышения производительности и упрощения обслуживания, может применяться машина МГР-250 (фиг. 12), переведенная на автоматический цикл работы.

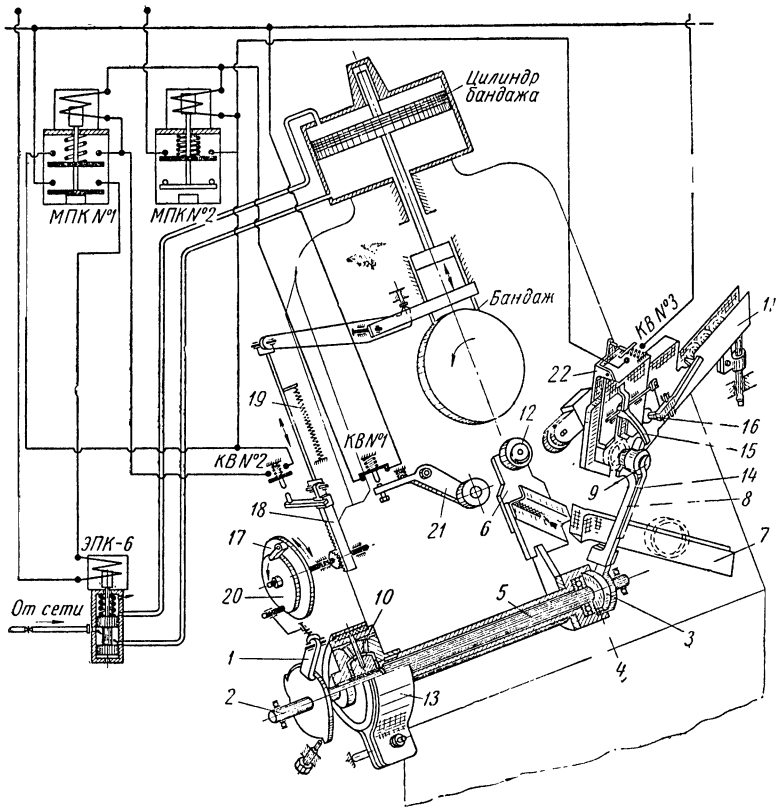
Раскатка на автоматическом цикле с применением автооператора имеет следующую последовательность. В начале обратного хода нажимного устройства (бандажа) рычаг *1* посредством механизма привода, состоящего из системы рычагов и тяг, рейки с шестерней и эксцентрика с храповым устройством, поворачивается по часовой стрелке, вращая вал *2* в этом же направлении. Диск ловителя *3*, жестко связанный с валом *2*, нажимая на выступ *4* трубы *5*, принудительно вращает вилку *6*. Производится съем раскатанного кольца, которое выкатывается из рабочей зоны по отводящему желобу *7*. Дальнейшее перемещение бандажа вверх изменяет направление вращения рычага *1*, и он начинает перемещаться против часовой стрелки, вызывая движение рычага ловителя *8* и самого ловителя *9* в направлении станины машины.

Вилка *6* за счет заторможенных сателлитов *10* продолжает движение в первоначальном направлении навстречу лови-

51. Эксплуатационные характеристики раскаточных машин, применяемых в отечественной промышленности

Тип раскаточной машины	Давление нажимного валка в *т*	Диаметр раскатываемых колец в *мм*		Высота раскатываемых колец в *мм*	Производительность в шт/час
		min	max		
МГР-250	6÷6,3	80	250	До 60	250—700
МГР-300	10÷12	150	300	» 70	75—200
РМ-300	16	200	300	» 110	55—110
РМ-500	32	200	500	» 130	55—110
КП-2	10,5	150	300	» 80	—
КП-1	25	120	360	» 100	—
БРМ	60—70	190	800	» 200	35—85
КСМ07		80	260	» 55	200—400

телю и очередной заготовке, находящейся в питателе желоба *11*. В момент, когда ловитель своей конусной передней частью войдет в отверстие заготовки, вилка прижмет ее к ловителю с противоположной стороны. После этого заготовка начнет перемещаться к центральному раскатному валку *12*. Вилка, прижимаясь к заготовке за счет ленточного тормоза *13* и сателлитов *10*, также будет перемещаться к валку *12*. Достигнув переднего торца раскатного валка, ловитель насадит на него заготовку, а рычаг ловителя *8*, преодолев усилие пластинчатой пружины *14*, дошлет заготовку, обеспечив ее правильное положение на раскатном валке. При прохождении нажимным устройством (бандажом) последнего участка пути вверх рычаг ловителя отходит назад в исходное положение и нажимает на рычаг отсекателя *15*. Очередная заготовка за счет выхода пальца *16* из желоба *11* поступает в питатель желоба напротив ловителя. При движении бандажа вниз происходит раскатка, диск *17* храпового устройства, вращаясь по



Фиг. 12. Общая кинематическая и электрическая схема автооператора к раскаточным машинам МГР-250.

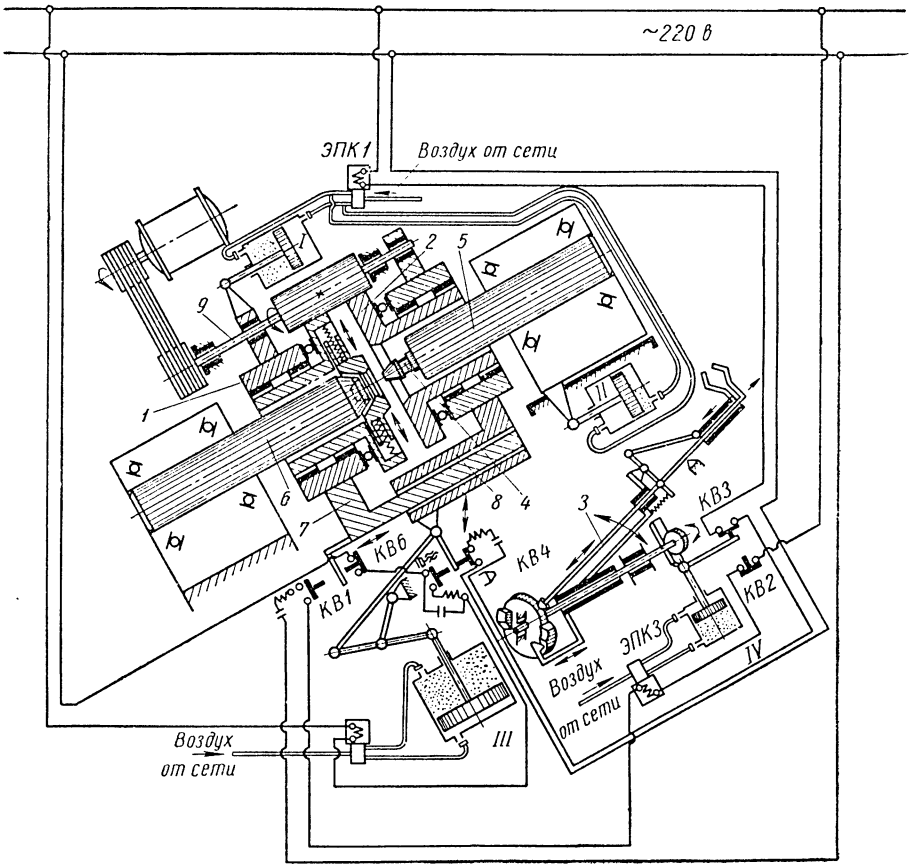
часовой стрелке, за счет рейки с шестерней *18* и пружины *19* возвращается в исходное положение при неподвижном эксцентриковом диске *20*.

Раскатываемое кольцо при достижении заданного размера наружного диаметра нажимает на контрольный ролик и через рычаг контрольного ролика *21* размыкает контакты КВ № 1. За счет этого переключается электропневматический клапан ЭПК-6 на подъем нажимного устройства. Бандаж начинает перемещаться вверх, и цикл работы автооператора повторяется. В конструкции пред-

усмотрено также предохранительное устройство, обеспечивающее остановку машины в том случае, если по какой-либо причине в питателе желоба не окажется очередной заготовки. В этом случае козырек желоба *22*, производящий

тическим циклом раскатки заготовок приведены на фиг. 13 и 14.

При разомкнутом положении кареток *1* и *2* (фиг. 13) автооператор *3* находится в крайнем заднем положении. При нажатии кнопки *КВ-1* включается кла-



Фиг. 13. Кинематическая схема кольцераскаточного автомата с разъемной обоймой.

замыкание контактов *КВ № 3* и *МПК № 2*, при подаче очередной заготовки в рабочую зону машины остается неподвижным, и нажимной валок (бандаж), совершив ход вверх, остановится в крайнем верхнем положении, так как независимо от замыкания контактов *КВ № 2* контакты *МПК № 1* не замкнутся, а значит не произойдет переключения электропневматического клапана *ЭПК-6*.

Две принципиальные схемы новых кольцераскаточных автоматов с автоматическим циклом раскатки заготовок приведены на фиг. 13 и 14.

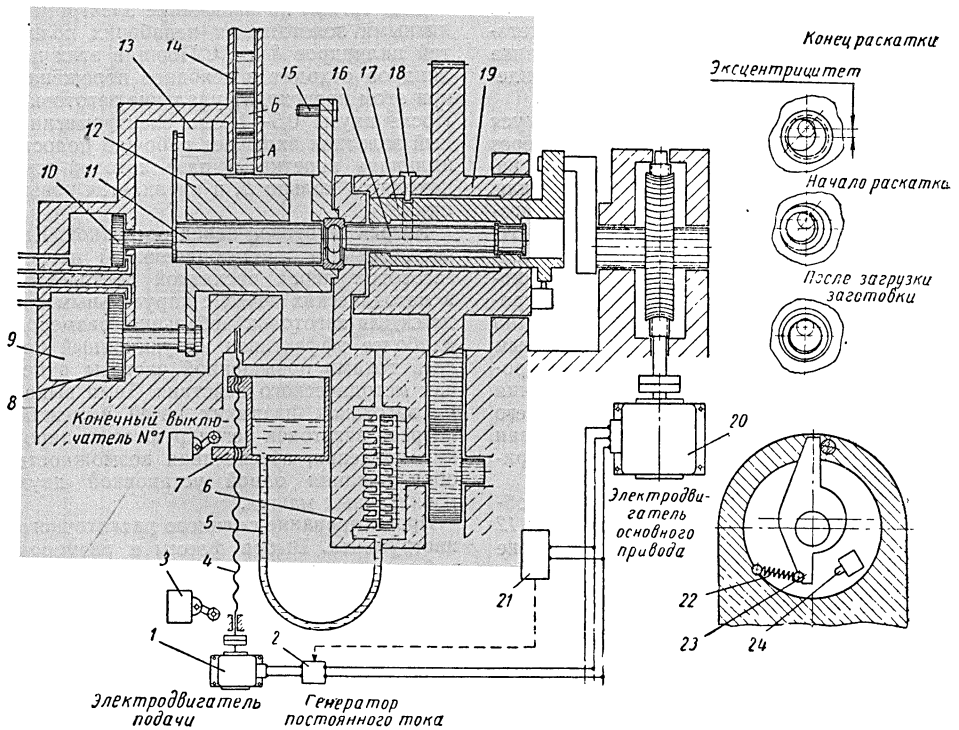
При разомкнутом положении кареток *1* и *2* (фиг. 13) автооператор *3* находится в крайнем заднем положении. При нажатии кнопки *КВ-1* включается клапан *ЭПК-3*, который подает воздух в цилиндр *IV*. При достижении автооператором переднего положения, последний надевает заготовку на шпиндель *4*, затем включается *КВ-2*, и цилиндр *IV* переключается на отвод автооператора в исходное положение. При остановке автооператора в заднем положении включается *КВ-3* и *ЭПК-1*, подающий воздух в цилиндр *I* и *II*, которые обеспечивают сближение каретки *1* и шпинделя *4*.

В конечный момент перемещения ка-

ретки *1*, *2* и шпиндели *5*, *6* смыкаются, а также включается цилиндр *III* через КВ-6 и ЭПК-2. Цилиндр *III* через систему рычагов опускает каретки *1* и *2*, соединенные между собой направляющими *7* и *8*. При этом каретки поворачиваются

Вторая схема раскаточного автомата, работающего по принципу эксцентричной и следящей подач, показана на фиг. 14.

В этой схеме матрицы неподвижны. Правая часть матрицы закрепляется в станине *9*, левая—в каретке *12*. Раскат-



Фиг. 14. Кинематическая схема раскаточного автомата, работающего по принципу эксцентрической и следящей подач.

вокруг оси приводной шестерни *9*. Каретки приводятся во вращение от цилиндрической шестерни *9*. В конечный момент раскатки при опускании кареток включается КВ-5, и цилиндр *III* начинает работать на подъем кареток. При крайнем верхнем положении кареток *1*, *2*, когда последние находятся соосно со шпинделями *5* и *6*, включается КВ-4, воздух подается в цилиндр *1*, происходит перемещение каретки влево, и раскатанное кольцо выталкивается из обойм, которые раздвигаются пружинами. При крайнем левом положении каретки *1* включается КВ-1, который подает воздух в цилиндр *IV* для перемещения автооператора *3* к раскаточному шпинделю.

ка производится раскаточным валком *16*, который, помимо вращения вокруг своей оси, имеет перемещение по спирали, что необходимо для удаления осей матрицы и раскаточного валка, т. е. для осуществления процесса раскатки. Вращение шпинделя вокруг своей оси осуществляется от электродвигателя *20* через червячную пару и раскаточный шпиндель *19*, вращающийся на двух опорах вокруг оси матрицы. Внутреннее цилиндрическое отверстие шпинделя *19* имеет эксцентриситет 10—15 *мм* по отношению к оси опор и, следовательно, к оси матрицы. В отверстие шпинделя вставляется промежуточная цилиндрическая деталь *17*, имеющая такой же эксцентрици-

тет, как и шпиндель. Раскаточный валок устанавливается в детали *17*. Шпонка *18* на раскаточном шпинделе и круговая канавка (на дуге 90°) на детали *17* удерживают эти две детали от осевого смещения, но предоставляют возможность поворачиваться на 90° одна относительно другой. Пружина *22*, стягивая эти детали, располагает их так, что ось ролика совпадает с осью раскаточного шпинделя и, следовательно, с осью матриц.

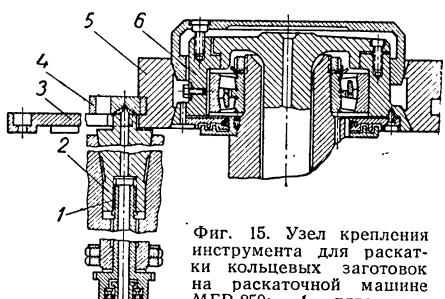
При приложении к вращающемуся шпинделю тормозящего момента через гидравлический тормоз, раскаточный валок будет перемещаться по спирали, преодолевая усилия пружины *22*, благодаря чему будет осуществляться раскатка заготовки. Так как определенное усилие раскатки соответствует определенному крутящему моменту, то, меняя уровень жидкости в гидротормозе *6*, можно изменить тормозной момент и тем самым увеличить или уменьшить усилие на ролике. Таким образом, для получения определенного усилия раскатки и его регулирования может быть использован принцип следящей подачи, успешно применяемой в шлифовальных станках.

Из печи заготовки поступают в желобнакопитель *14*. При движении каретки *12* и толкателя *11* в исходное положение отсекатель *15* входит в отверстие кольца *Б*, при этом кольцо *А* проваливается на каретку. В крайнем правом положении толкатель *11* через рычаг нажимает на конечный выключатель *13*, который обеспечивает включение реле мощности. Реле мощности подает сигнал генератору постоянного тока на увеличение мощности основного двигателя до мощности раскатки. Включается двигатель подачи *1*, вращая винт в направлении подъема ванны. Жидкость заполняет гидротормоз, увеличивая тормозной момент на постоянно вращающемся раскаточном шпинделе. Раскаточный ролик сначала быстро перемещается по спирали до соприкосновения с заготовкой. По достижении заданного усилия раскатки мотор основного привода *20* дает заданную мощность. Реле мощности подает сигнал для прекращения подачи. После достижения заданной толщины стенки раскатанного кольца кулачок *23* действует на микровыключатель *24*, который подает сигнал на выключение реле мощности и переключение двигателя *1* на обратный ход.

Опускаясь, ванна снижает уровень жидкости в гидротормозе, при этом у раскаточного шпинделя снижается тормозной момент, и пружина *22* приводит валок в положение, когда ось раскаточного валка совпадает с осью матрицы. Ванна нажимает на конечный выключатель *3*, который выключает двигатель *1* и дает сигнал на включение электромагнитными золотниками нерабочих полостей цилиндров *8* и *10*. Поршни этих цилиндров отходят в исходное положение, при этом происходит удаление заготовки. После паузы 0,5—1 сек. электромагнитный золотник включает рабочую полость цилиндра каретки, в пазе которой уже находится кольцо *Б*, и начинается новый цикл.

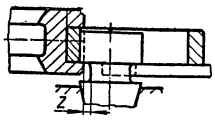
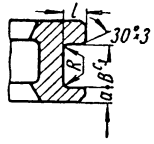
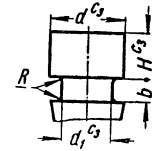
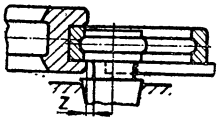
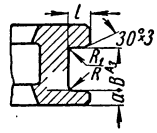
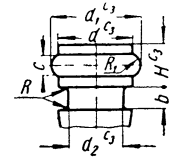
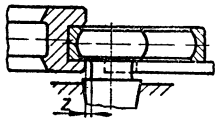
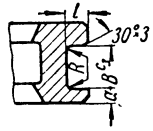
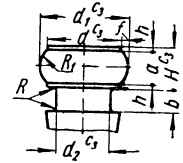
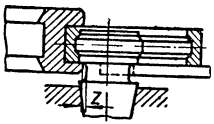
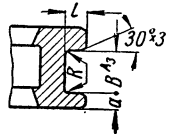
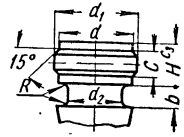
Нагрев заготовок перед раскаткой. Качественный и производительный нагрев заготовок перед раскаткой достигается в методических печах с карусельным подом. Для заготовок небольших размеров наиболее эффективен индукционный нагрев токами повышенной частоты в печах методического действия. Темп выдачи заготовок из таких печей и режим нагрева заготовок регулируются в широких пределах, обеспечивая возможность обслуживания одной установкой двух раскаточных машин.

Проектирование сменного раскаточного инструмента. Выбор формы и размеров рабочих элементов раскаточного инструмента при его проектировании производится в соответствии с данными табл. 52—54. Конструктивное оформление крепления раскаточного инструмента на основных типах раскаточных машин показано на фиг. 15—17.

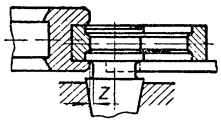
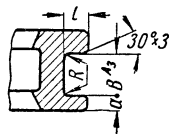
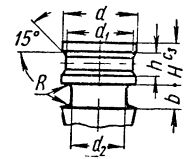
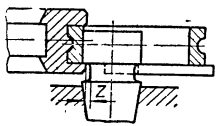
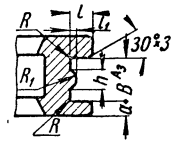
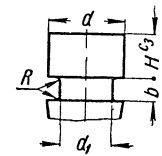
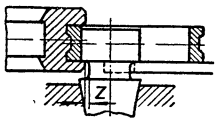
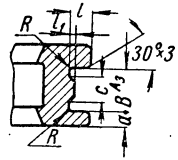
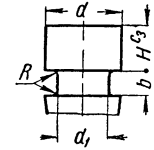


Фиг. 15. Узел крепления инструмента для раскатки кольцевых заготовок на раскаточной машине МГР-250: *1* — тяга для крепления раскаточного вала (сталь 40); *2* — раскаточный валок (сталь 5ХНВ или 50ХГС, *HRC* 44—48); *3* — планка для опоры кольца (сталь ШХ15, *HRC* 40—45); *4* — раскатываемая заготовка; *5* — нажимной валок (сталь 5ХНВ или 50ХГС, *HRC* 37—42); *6* — цанга для крепления бандажа (сталь 60Г).

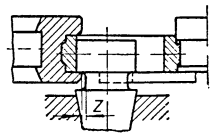
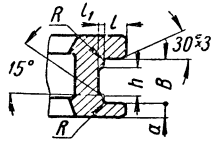
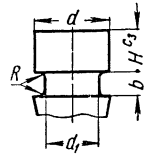
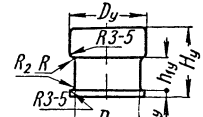
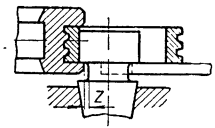
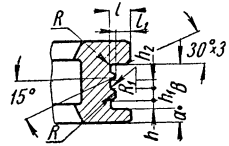
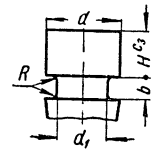
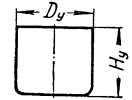
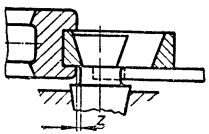
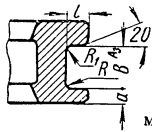
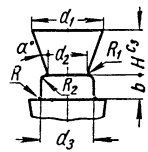
52. Проектирование сменного раскаточного инструмента

Схема раскатки	Форма бандажа и его расчетные формулы	Форма раскатного валка и его расчетные формулы
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda;$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $R = R_p$	 $d = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_1 = d - 2(l + z - s_p)$; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda;$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $R = R_p$	 $d_1 = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d = d_1 - (d_{1p} - d_p)$; $d_2 = d - 2(l + z - s_p)$; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*; $c = c_p$
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda;$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $R = R_p$	 $d_1 = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d = d_1 - (d_{1p} - d_p)$; $d_2 = d - 2(l + z - s_p)$; $H = B - (0{,}5 - 1{,}2)$ *мм*; $h = h_p$;
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda;$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $R = R_p$	 $d_1 = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d = d_1 - (d_{1p} - d_p)$; $d_2 = d - 2(l + z - s_p)$; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*

Продолжение табл. 52

Схема раскатки*	Форма бандажа и его расчетные формулы	Форма раскатного валка и его расчетные формулы
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda;$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $R = R_p$	 $d = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_1 = d - (d_{1p} - d_{1p})$ *мм*; $d_2 = d - 2(l + z - s_p)$; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*; $h = h_p$
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda$ $h = c_p$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $l_1 = \frac{D_p - D_{1p}}{2};$ $R = R_p$ $R_1 = r_p$	 $d = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_1 = d - 2(l + z - s_p)$ $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*
	 $B = B_{p_{max}} + \lambda;$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2};$ $l_1 = \frac{D_p - D_{1p}}{2};$ $c = c_p$ $R = R_p$	 $d_1 = d - 2(l + z - s_p)$ $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*; $d = d_к - (3 \div 10)$ *мм*

* Размеры a, z, R и b принимаются по табл. 54.

Схема раскатки*	Форма бандажа и его расчетные формулы	Форма раскаточного валка и его расчетные формулы	Упорный ролик
	 $B=B_{p\max}+\lambda$; $h=h_p$; $l=\frac{D_к-d_к}{2}$; $l_1=\frac{D_{1p}-D_p}{2}$; $R=R_p$	 $d=d_к-(3\div10)$ *мм*; $d_1=d-2(l+z-s_p)$; $H=B-(0{,}5\div1{,}2)$ *мм*; R, b — см. табл. 54	 H_y — см. табл. 54; $h_y=\frac{B-h}{2}-(4\div5)$ *мм*, где B и h — размеры бандажа; $h_{1y}=h+2(4\div5)$ *мм*, где h — высота гнезда бандажа; D_y — см. табл. 54; $D_{1y}=D_y-(D_{1p}-D_p)$
	 $B=B_{p\max}+\lambda$; $h=c_p$; $h_1=c_{1p}$; $l=\frac{D_к-d_к}{2}$; $l_1=\frac{D_p-D_{1p}}{2}$; R и $R_1=R_p$	 $d=d_к-(3\div10)$ *мм*; $d_1=d-2(l+z-s_p)$; $H=B-(0{,}5\div1{,}2)$ *мм*; R, b — см. табл. 54	 см. табл. 54
	 $B=B_{p\max}+\lambda$; $l=\frac{d_2}{2}+s_p-\left(\frac{d_3}{2}+z\right)$, где d_2, d_3 — размеры раскаточного валка; $s_p=\frac{D_p-d_p}{2}$; $R=R_p$; $R_1=R_{1p}$	 $d_1=d_к-(3\div10)$ *мм*; $d_2=d_1-(d_{1p}-d_p)$; $d_3=d_2+(6\div8)$ *мм*; $H=B-(0{,}5\div1{,}2)$ *мм*; $\operatorname{tg}\alpha=\frac{d_1-d_2}{2H}$	То же

Продолжение табл. 53

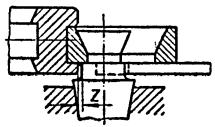
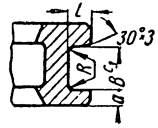
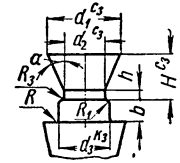
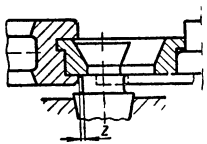
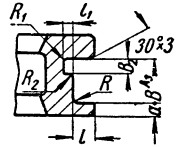
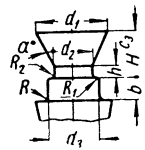
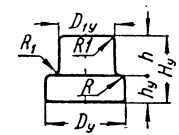
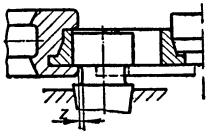
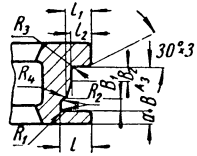
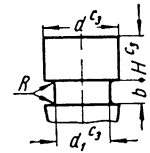
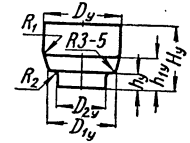
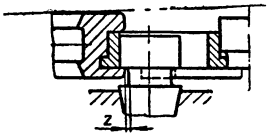
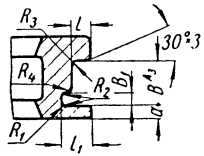
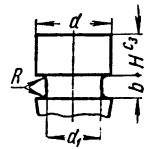
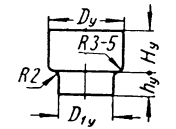
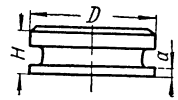
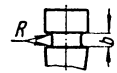
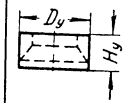
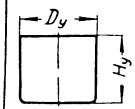
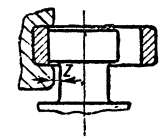
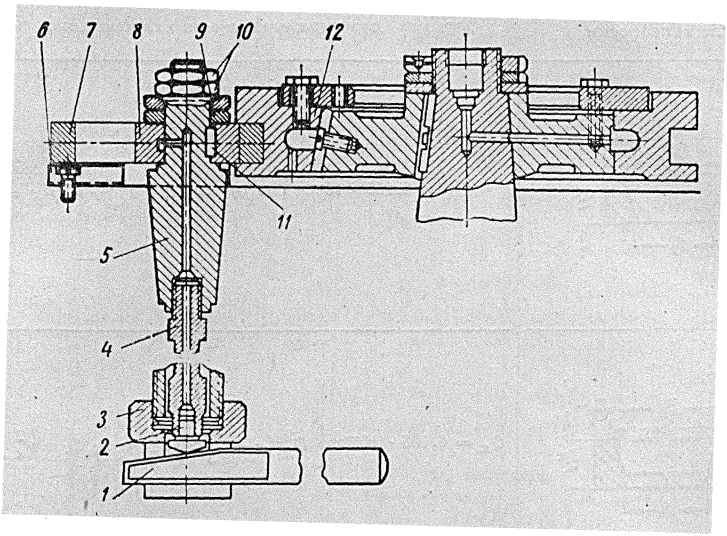
Схема раскатки*	Форма бандажа и его расчетные формулы	Форма раскаточного валка и его расчетные формулы	Упорный ролик
	 $B = B_{p\max} + \lambda$; $l = \frac{d_2}{2} + s_p - \left(\frac{d_3}{2} + z\right)$; где d_2, d_3 — размеры раскаточного валка; $s_p = \frac{D_p - d_p}{2}$; $R = R_p$; $R_1 = R_{1p}$	 $d_1 = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_2 = d_1 - (d_{1p} - d_p)$; $d_3 = d_2 + (6 \div 8)$ *мм*; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*; $h = B_{1p}$; $\operatorname{tg}\alpha = \frac{d_1 - d_2}{2(H-h)}$; $R_1 = 1 \div 3$ *мм*; $R_3 = 0{,}5 \div 1$ *мм*; R и b — см. табл. 54	То же
	 $B = B_{p\max} + \lambda$; $B_2 = B_{2p\max}$; $l = \frac{d_2}{2} + s_p - \left(\frac{d_3}{2} + z\right)$; где d_2, d_3 — размеры раскаточных валков; $s_p = \frac{D_p - d_p}{2}$; $l_1 = \frac{D_{1p} - D_p}{2}$; $R = R_p$; $R_1 = R_{1p}$; $R_2 = R_{2p}$; a — см. табл. 54	 $d_1 = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_2 = d_1 - (d_{1p} - d_p)$; $d_3 = d_2 + (6 \div 8)$ *мм*; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*; $h = B_{1p}$; $\operatorname{tg}\alpha° = \frac{d_1 - d_2}{2(H-h)}$; $R_1 = 1 \div 3$ *мм*; $R_2 = 0{,}5 \div 1{,}0$ *мм*; R и b — см. табл. 54.	 D_y и H_y — см. табл. 54 $D_{1y} = D_y - (D_{1p} - D_p)$; $h_y = (B_p - B_{2p}) - (6 \div 8)$ *мм*, $R = 3 \div 5$ *мм*; $R_1 = 1 \div 2$ *мм*

Схема раскатки*	Форма бандажа и его расчетные формулы	Форма раскаточного валка и его расчетные формулы	Упорный ролик
	 $B = B_p \max + \lambda$; $B_1 = B_{1p\max}$ $B_2 = B_{2p}$ $l = s_к = \frac{D_к - d_к}{2}$; $l_1 = \frac{D_{1к} - d_к}{2}$; $l_2 = \frac{D_{2к} - d_к}{2}$ $R_1 = R_{1p}$; $R_2 = R_{2p}$; $R_3 = R_{3p}$; $R_4 = R_{4p}$	 $d = d_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_1 = d - 2(l + z - s_p)$; $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*	 D_y — см. табл. 54; $D_{1y} = D_y - 2\operatorname{tg}\alpha\,(h_{1y} + h_y)$, где α — угол бандажа; $D_{2y} = D_y - (D_p - D_{2p})$; H_y — см. табл. 54 $h_y = B_{1p_{\max}} + (5 \div 10)$ *мм*; $h_{1y} = B - B_2$; где B и B_2 — соответственно размеры бандажа $\alpha_y = \alpha_0$, где α_0 — угол бандажа
	 $B = B_{p_{\max}} + \lambda$; $B_1 = B_{1p\max}$; $l = s_к = \frac{D_{1к} - d_2}{2}$; $l_1 = l + \frac{D_p - D_{1p}}{2}$; R_1; R_2; R_3; R_4 — принимаются соответственно раскатанной поковке	 $d = D_к - (3 \div 10)$ *мм*; $d_1 = d - 2(l + z - s_p)$ $H = B - (0{,}5 \div 1{,}2)$ *мм*; R и b — см. табл. 54	 D_y — см. табл. 54; $D_{1y} = D_y - (D_p - D_{1p})$; H_y — см. табл. 54; $h_y = B_{p_{\max}} + (5 \div 8)$ *мм*

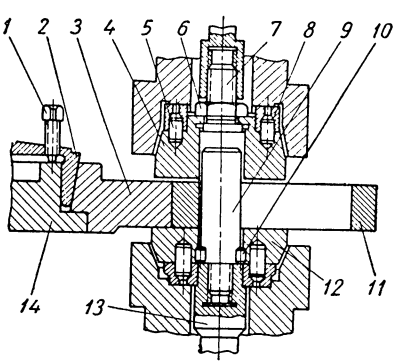
*Размеры z и a принимают по табл. 54.

54. Постоянные размеры сменного раскаточного инструмента в *мм*

Тип машины	Бандаж			Раскатный валок		Упорный валок и упорный ролик		Зазор z
	D	H	a	b	R	D_y	H_y	
МГР-250	420	110	16	21	4	95—100	65	1—3
МГР-300	510	110—130	18	Составной		120	80	2—4
РМ-300м	690	182	21	24	9	150	120	5—6
РМ-500	690	182	21	24	9	150	120	5—6
КП-2								
КП-1								
БРМ	1150	50—160	Гладкий	Гладкий ⌀80		150—240	152	—
Эскиз								

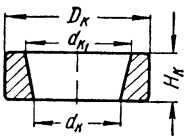
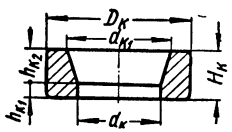
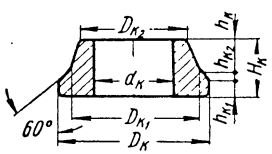
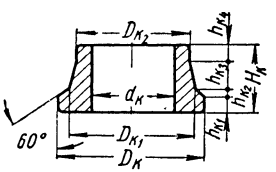
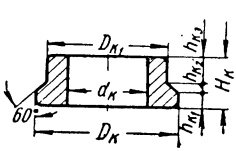


Фиг. 16. Узел крепления инструмента для раскатки кольцевых заготовок на раскаточной машине МГР-300: *1* — клин для выжимания конуса (сталь 40, *HRC* 40—45); *2* — упорная гайка (сталь 40, *HRC 38—42); 3* — упор (сталь 40, *HRC* 40—45); *4* — тяга для крепления конуса (сталь 40); *5* — конус раскаточного ролика (сталь 5ХНВ или 50ХГС, *HRC* 44—48); *6* — планка для опоры кольца (сталь ШХ15, *HRC* 40—45); *7* — раскатываемая заготовка; *8* — ролик для раскатки (сталь 5ХНВ или 50ХГС, *HRC* 44—48); *9* — наборные шайбы (сталь 40); *10* — гайки для крепления ролика (сталь 40, *HRC* 35—45); *11* — шпонка ролика (сталь 50, *HRC* 46—48); *12* — бандаж (сталь 5ХНВ или 50ХГС, *HRC* 37—42).

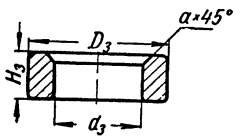
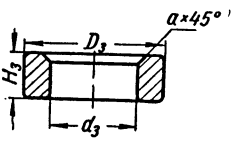
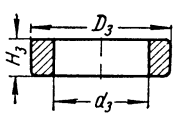
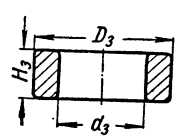
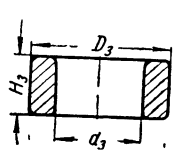


Фиг. 17. Узел крепления инструмента для раскатки кольцевых заготовок на раскаточной машине БРМ: *1* — болт для выжимания цанги (сталь 40); *2* — цанга (сталь 60Г); *3* — бандаж (сталь 5ХНВ); *4* — ролик подвижный (сталь 5ХНВ или 50ХГС); *5* — палец (сталь 40); *6* — гайка специального болта (сталь 40); *7* — болт специальный (сталь 40); *8* — крестовина (сталь 40); *9* — раскатной валок (сталь ЭИ160 или 50ХГС); *10* — шпилька (сталь 40); *11* — раскатываемая заготовка; *12* — ролик неподвижный (сталь 50ХГС или 5ХГВ); *13* — тяга раскатного валка (сталь 40); *14* — шпиндель верхней бабки.

55. Определение черного веса калиброванных заготовок, формы и размеров

Форма заготовки после калибровки	Формула для определения веса калиброванной заготовки
	$Q_к = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_к^2 H_к - \frac{H_к}{3}\left(d_{к_1}^2 + d_{к_1} d_к + d_к^2\right)\right]$
	$Q_к = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_к^2 H_к - \frac{h_{к_2}}{3}\left(d_{к_1}^2 + d_{к_1} d_к + d_к^2\right) - d_к^2 h_{к_1}\right]$
	$Q_к = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_к^2 h_к + \frac{h_{к_2}}{3}\left(D_к^2 + D_к D_{к_1} + D_{к_1}^2\right) + \frac{h_{к_3}}{3}\left(D_{к_1}^2 + D_{к_1} D_{к_2} + D_{к_2}^2\right) - d_к^2 H_к\right]$;
	$Q_к = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_к^2 h_{к_1} + \frac{h_{к_2}}{3}\left(D_к^2 + D_к D_{к_1} + D_{к_1}^2\right) + \frac{h_{к_3}}{3}\left(D_{к_1}^2 + D_{к_1} D_{к_2} + D_{к_2}^2\right) + D_{к_2}^2 h_{к_4} - d_к^2 H_к\right]$
	$Q_к = 6{,}165 \cdot 10^{-6}\left[D_к^2 h_{к_1} + \frac{h_{к_2}}{3}\left(D_к^2 + D_к D_{к_1} + D_{к_1}^2\right) + D_{к_1}^2 h_{к_3} - d_к^2 H_к\right]$

заготовок под калибровку, полученных штамповкой на ГКМ

Форма заготовки под калибровку	Формулы для определения размеров заготовки под калибровку
	$D_з = D_к - (0{,}5 \div 1{,}0)$ *мм*; $d_з = D_з - (D_к - d_к)\ (0{,}9 \div 0{,}95)$ *мм*; $H_з = \dfrac{4Q_к + 2\gamma\pi a^2 (d_з + a)}{\gamma\pi \left(D_3^2 - d_3^2 \right)}$; $a = 5 \div 7$ *мм*
	$D_з = D_к - (0{,}5 \div 1{,}0)$ *мм*; $d_з = D_з - (D_к - d_к)(0{,}9 \div 0{,}95)$ *мм*; $H_з = \dfrac{4Q_к + 2\gamma\pi a^2 (d_з + a)}{\gamma\pi \left(D_3^2 - d_3^2 \right)}$ *мм*; $a = 5 \div 7$ *мм*
	$D_з = D_к - (0{,}5 \div 1{,}0)$ *мм*; $d_з = D_з - (D_к - d_к)(0{,}9 \div 0{,}95)$ *мм*; $H_з = \dfrac{4Q_к}{\gamma\pi \left(D_3^2 - d_3^2 \right)}$ *мм*
	$D_з = D_к - (0{,}5 \div 1{,}0)$ *мм*; $d_з = D_з - (D_к - d_к)(0{,}9 \div 0{,}95)$ *мм*; $H_з = \dfrac{4Q_к}{\gamma\pi \left(D_3^2 - d_3^2 \right)}$ *мм*
	$D_з = D_к - (0{,}5 \div 1{,}0)$ *мм*; $d_з = D_з - (D_к - d_к)(0{,}9 \div 0{,}95)$ *мм*; $H_з = \dfrac{4Q}{\gamma\pi \left(D_3^2 - d_3^2 \right)}$ *мм*

Полугорячая калибровка кольцевых заготовок

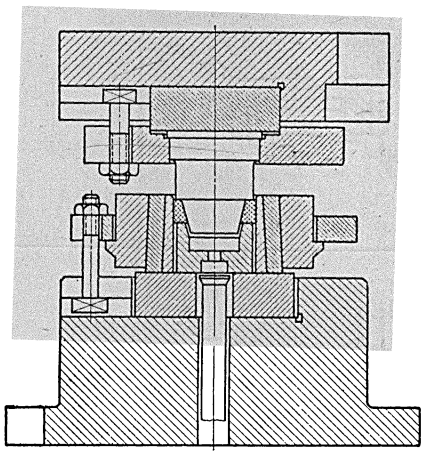
Полугорячую калибровку применяют как штамповочную операцию, для получения заготовок заданной формы с размерными параметрами повышенной точности.

Калибровку производят на коленчаторычажных или кривошипных прессах с предварительным нагревом исходных отожженных и очищенных от окалины цилиндрических кольцевых заготовок, полученных горячей штамповкой на ГКМ или отрезкой из труб, до температуры, ниже перлитного превращения (нагрев до 680—720° С для стали ШХ15).

Полугорячей калибровкой можно получить заготовки, формы которых показаны в табл. 55. Технология полугорячей калибровки находит сравнительно ограниченное распространение и применяется для получения заготовок наружных колец конических роликоподшипников (форма 1), однако учитывая ее прогрессивность, имеет все предпосылки для более широкого внедрения в ближайшем будущем.

Калибровка заготовок наружных колец конических роликоподшипников предусматривает следующий технологический маршрут: 1) горячая штамповка исходных заготовок из стали ШХ15 на ГКМ, 2) рекристаллизационный отжиг поковок в электропечах методического действия; 3) удаление окалины с поверхностей заготовок в дробеметных установках или специальных барабанах со стальными шариками; 4) смазка заготовок в водном растворе, смеси порошкообразного серебристого графита с тщательно отмученным мелом в пропорции: 9 объемных частей графита, одна объемная часть мела и 10 объемных частей воды; смазка производится в барабанах, предназначенных для очистки окалины после ее тщательного удаления из барабанов и добавления в них небольшого количества смазки указанного состава; 5) нагрев заготовок в индукционной методической печи до температуры 680—720° С. При этом особое внимание уделяется равномерности нагрева и постоянству температуры заготовок; 6) калибровка заготовок в штампе, показанном на фиг. 18, за один рабочий ход кривошипного или чеканочного пресса, необходимого тоннажа.

При калибровке исходных заготовок, полученных отрезкой от труб и расточенных, в целях удаления разностенности горячекатаных отожженных или холоднокатаных труб отпадает необходимость



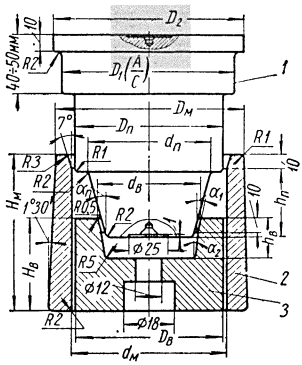
Фиг. 18. Штамп для полугорячей калибровки заготовок наружных колец конических роликоподшипников.

в отжиге, в остальном же технология остается неизменной.

Калибровочная операция позволяет значительно уменьшить фактические припуски для последующей токарной обработки за счет: а) упрощения технологии горячей штамповки исходных заготовок простейшей формы, при которой резко уменьшается возможность образования зажимов, заштамповок, заусенцев, вмятин и т. д.; б) получения чистой гладкой поверхности, не пораженной раковинами от окалины; в) устранения овальности (некруглости) и уменьшения разностенности поковок, неизбежных при существующей технологии штамповки на ГКМ; г) значительного уменьшения отклонений размера по наружному и внутреннему диаметру заготовок. Некоторое возможное увеличение трудозатрат за счет введения дополнительной калибровочной операции компенсируется повышением производительности при последующей токарной обработке более совершенных заготовок.

Проектирование технологии. Чертеж калиброванной заготовки наружного кольца конического роликоподшипника составляется по чертежу готовой детали с упрощением формы в соответствии

56. Сменный рабочий инструмент штампа для полугорячей калибровки наружных колец конических роликоподшипников



Формулы для определения размеров инструмента

Наружные диаметры	Внутренние диаметры	Высота	Углы
$D_2 = D_1 + 10$ *мм*; $D_м = 1{,}225 D_к$ *мм*; $D_B = [d_м - (0{,}5 \div 1{,}0)]^{-0{,}05}$ *мм*; $D_п = [D_к + \lambda - (2 \div 3)]^{-0{,}1}$ *мм*	$d_п = d_к + \lambda$ *мм*: $d_B = d_к + \lambda + 0{,}5$ *мм*; $d_м = (D_к + \lambda)^{+0{,}05}$ *мм*	$H_м \approx 3H_к$; $H_B = H_м - H_к - (15 \div 17)$ *мм*; $h_B \approx H_к$; $h_п = H_к + (15 \div 20)$ *мм*	$\alpha_п = \alpha_к$; $\alpha_1 = \alpha_п - 2°$; $\alpha_2 = \alpha_1 - 5°$

с фиг. 1, табл. 55 и назначением припусков и допусков по табл. 13.

Форму и размеры заготовок под калибровку устанавливают по табл. 55. При изготовлении заготовок под калибровку штамповкой на ГКМ главное внимание уделяют сокращению весовых отклонений и уменьшению разностенности при ослаблении технических требований к качественному заполнению углов и выдерживанию высоты в пределах обычно принятых допускаемых отклонений.

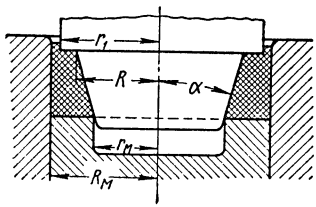
Для калибровочной операции наиболее приемлемым видом оборудования являются коленчато-рычажные прессы типа чеканочных. Не исключено, однако, использование и двухстоечных кривошипных прессов.

Тоннаж пресса для полугорячей калибровки заготовок наружных колец конических роликоподшипников устанавливают после определения усилия калибровки по формуле:

$$P = \frac{\pi\left(R^2 - r_м^2\right)\sigma_s}{\sin\alpha}\left\{\left[\frac{1}{\alpha}\ln\frac{R_м - \frac{1}{2}(R - r_м)}{R_м - R} + 4\mu + l_п\frac{F}{l_3} + 1\right]\sin\alpha + \frac{1}{2}\cos\alpha\right\} + \sigma_s\pi\left(r_1^2 - R^2\right)\cdot\left(1 + 4\mu + l_п\frac{F}{l_3}\right)\kappa\Gamma,$$

где $F=\pi\left(r_1^2-R^2\right)$ *мм*^{2}; $f=\pi\left(R_м^2-r_1^2\right)$ *мм*^{2} $r_1=R_м-1{,}5$ *мм*; μ — коэффициент трения, равный 0,20 ÷ 0,25; σ_s — предел текучести стали ШХ15 при температуре 700°, равный 35 *кГ/мм*^{2}.

Остальные величины, входящие в формулу, принимают по фиг. 19.



Фиг. 19. Схема полугорячей калибровки заготовок наружных колец конических роликоподшипников к формуле определения усиления калибровки.

Проектирование сменного калибровочного инструмента. При конструировании сменных рабочих деталей штампов для полугорячей калибровки заготовок наружных колец конических роликоподшипников следует руководствоваться данными, приведенными в табл. 56.

В целях обеспечения необходимой механической прочности матриц, подверженных в процессе калибровки воздействию высоких удельных давлений, вызывающих в стенках матриц растягивающие напряжения, близкие к пределу прочности материала, из которого они изготовлены, последние скрепляются трехслойными бандажами. Скрепление производится запрессовкой в холодном состоянии матрицы в предварительно собранный трехслойный бандаж.

Холодная штамповка заготовок колец конических роликоподшипников

Холодная объемная штамповка заготовок колец конических роликоподшипников из полосовой цементуемой стали марки 18ХГТ является новой прогрессивной технологией.

Заготовки, полученные по этой технологии, обладают точностью, позволяющей исключить токарную обработку основных поверхностей, применив ее лишь для доделочных операций. Наружные и внутренние диаметры кольцевых заготовок после объемной штамповки имеют отклонения размеров в пределах 0,2 *мм*, а микрогеометрия поверхности соответствует 6—7 классам. Остальные допускаемые отклонения обусловлены техническими условиями, приведенными в табл. 18 и 19.

Холодной штамповкой возможно получить заготовки, формы которых показаны в табл. 55. К числу преимуществ этого метода следует также отнести высокую производительность, которая легко достигается применением полуавтоматических и автоматических подач на прессовых операциях. Наряду с этим производство холодноштампованных заготовок колец обладает тем недостатком, что обеспечивает достаточно высокий коэффициент использования исходного полосового металла (до 0,52) лишь при условии рационального его раскроя. Рациональный раскрой предусматривает вырубку не менее трех сопряженных по размерам заготовок, вписывающихся друг в друга. Создание такого раскроя требует особого выбора номенклатуры наружных и внутренних колец, размеры которых удовлетворяли бы этому условию.

Холодноштампованные заготовки колец изготовляют по следующему технологическому маршруту:

1) сортировка исходного полосового металла на две группы, в каждой из которых толщина полос имеет отклонение, равное $^1/_2$ допуска, предусмотренного ГОСТ на данный размер;

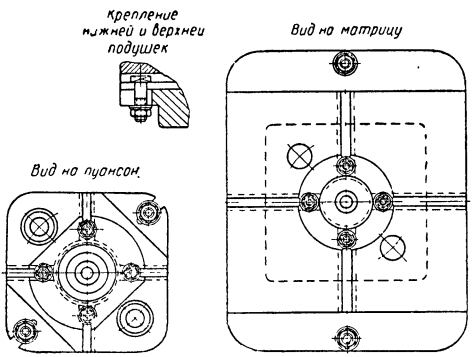
2) резка полос на мерные длины, кратные шагу вырубки;

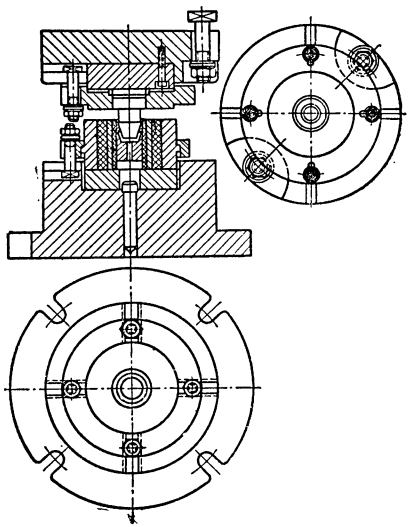
3) вырубка и пробивка заготовочных шайб на кривошипных или эксцентриковых прессах в штампе совмещенного действия, представленном на фиг. 20; при этом в зависимости от группы полосового металла по толщине для диаметра отверстия заготовок назначается свой размер;

4) отжиг заготовочных шайб для снятия наклепа, возникшего в процессе пробивки в слоях металла, прилегающих к отверстию;

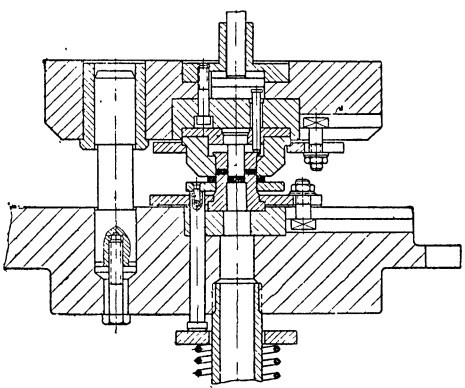
5) обработка заготовок в барабанах для удаления окалины и подготовки их поверхности к смазке;

6) смазка заготовок водным раствором смеси коллоидального графита с отмученным мелом в пропорции: графит 10%; мел 30%; вода 60%. Нанесение смазки осуществляется кратковременным (3—4 мин.) включением барабана с заготовками, откуда предварительно удалена окалина и загружены обрезки хромовой кожи, смоченные смазкой;

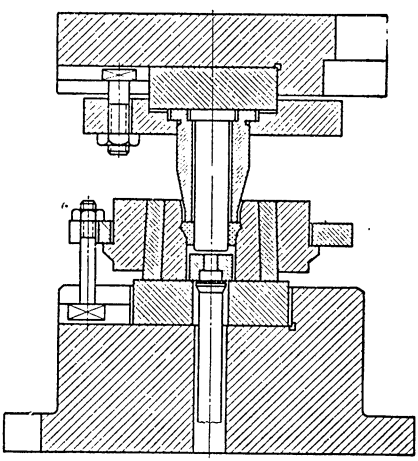




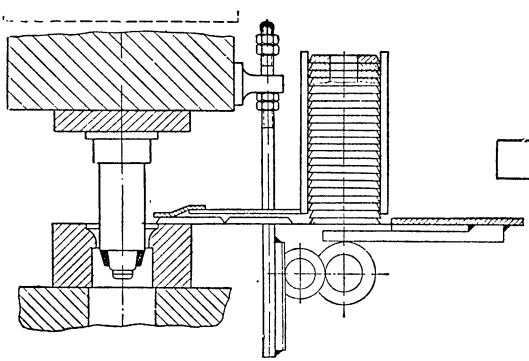
Фиг. 22. Штамп для холодной штамповки заготовок наружных колец конических роликоподшипников.



Фиг. 20. Штамп совмещенного действия для вырубки и пробивки заготовочных шайб наружных и внутренних колец конических роликоподшипников, получаемых холодной объемной штамповкой.



Фиг. 23. Штамп для холодной штамповки заготовок внутренних колец конических роликоподшипников.



Фиг. 21. Штамп с автоматической шиберной подачей для операции вывертывания заготовочных шайб в кольцевой полуфабрикат.

7) вывертывание заготовочных шайб в кольцевой полуфабрикат, осуществляемое на кривошипном или эксцентриковом прессе в штампе с автоматической шиберной подачей по схеме фиг. 21;

8) холодная объемная штамповка кольцевых полуфабрикатов методами обратного (для наружных колец) или прямого (для внутренних колец) выдавливания на кривошипных двухстоечных или коленорычажных прессах с получением заданной формы и размеров заготовок в штампах, изображенных на фиг. 22 и фиг. 23.

Проектирование технологии. Чертеж холодноштампованной заготовки наружного или внутреннего кольца конического роликоподшипника составляется по чертежу готовой детали с упрощением формы в соответствии с фигурами, приведенными в табл. 55, и назначением припусков и допусков по табл. 13.

Размеры заготовочной шайбы: толщину $s_н$, наружный диаметр $D_э$ и диаметр отверстия $d_э$ в зависимости от того, предназначена ли заготовка для получения кольцевого полуфабриката, идущего для штамповки наружного или внутреннего кольца, определяют по формулам:

для наружных колец

$$s_н \approx (0{,}80 \div 0{,}85)\, s_{кш};$$

для внутренних колец

$$s_н \approx 1{,}5 s_{ку},$$

где $s_{кш}$ и $s_{ку}$ соответственно толщины широкого торца заготовки наружного кольца и узкого торца заготовки внутреннего кольца.

Средний диаметр кольцевого полуфабриката после вывертывания $D_{ср}$ принимают равным среднему диаметру заготовки кольца со стороны ее широкого торца

$$D_{ср} = \frac{D_к + d_к}{2}$$

и определяют по формуле

$$D_{ср} = \sqrt{\frac{D_э^2 + d_э^2}{2}}.$$

Наружный диаметр заготовки рассчитывают из условия равенства объемов заготовочной шайбы и штампуемой заготовки кольца $V_к = \frac{Q_к}{\gamma}$, где $Q_к$ определяют по формулам табл. 55.

$$D_э = \sqrt{\frac{2V_к}{\pi s_н} + D_{ср}^2}.$$

Затем определяют диаметр отверстия шайбы:

$$d_э = \sqrt{D_э^2 - \frac{4V_к}{\pi s_н}}.$$

После определения размеров заготовочной шайбы производят проверочный расчет, возможности выполнения вывертывания без разрушения металла в зоне отбортовки, связанной с увеличением диаметра пробитого отверстия. Проверку осуществляют по предельному коэффициенту отбортовки $K_{отб}$, который для отожженной стали 18ХГТ в пределах толщины 8—12 *мм* равен 0,5 ÷ 0,45.

$$d_э \geqslant \left(d_{пф} + 2s_н \sqrt{\frac{d_э}{d_{пф} + s_н}}\right) K_{отб}.$$

В случае несоблюдения данного неравенства, путем некоторого увеличения $D_э$ и $s_н$, размеры шайбы устанавливают в соответствии с условием приведенного выше неравенства.

Выбор тоннажа кривошипного двухстоечного или коленорычажного пресса для холодной объемной штамповки наружных колец конических роликоподшипников производят на основании определения максимального усилия, возникающего в конечный момент штамповки по следующим формулам.

Полуэмпирическая формула для определения усилия при штамповке наружных колец

$$P = q \cdot 4{,}1 H_к (d_к + H_к \operatorname{tg}\alpha) \times \\ \times (\mu + \operatorname{tg}\alpha)\, к\Gamma,$$

где $H_к$ — высота штампованного кольца в *мм*; $d_к$ — внутренний диаметр кольца у широкого торца в *мм*; α — угол конусности дорожки качения в град.; μ — коэффициент трения на контактной поверхности заготовки с пуансоном, принимаемый для обычных условий смазки заготовок равным 0,12; q — среднее удельное давление на контактной поверхности заготовки с пуансоном, равное для стали 18ХГТ 150 $к\Gamma/мм^2$.

Теоретическая формула для определения усилия штамповки наружных конических колец, полученная при упрощенном анализе напряжений, позволяет вы-

явить влияние основных технологических факторов на силовой режим штамповочной операции.

$$P = \sigma_s \left[\frac{\pi}{4} \left(D_к^2 - d_к^2 \right) a - \pi D_к \mu b \right] кГ,$$

где

$$a = \frac{\beta A}{A-1} \left[1 - \left(\frac{s_{кш}}{s_{ку}} \right)^{A-1} \right];$$

$$b = \frac{\beta s_{кш}}{(A-1)\operatorname{tg}\alpha} \left[1 - \left(\frac{s_{кш}}{s_{ку}} \right)^{A-1} \right];$$

$$A = \frac{1}{\cos\alpha} + \frac{\mu}{\sin\alpha} + \frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha};$$

$s_{кш}$ — толщина широкого торца штампованного кольца в *мм*; $s_{ку}$ — толщина узкого торца штампованного кольца в *мм*; α — угол конусности дорожки качения в град.; $\mu = 0{,}12$ — коэффициент трения; $\beta = 1{,}1$; $\sigma_s = 55$ *кГ/мм*^{2} — предел текучести для стали 18ХГТ.

Ориентировочно усилие штамповки внутренних колец может быть определено по формуле

$$P = q \frac{\pi}{4} \left(D_к^2 - d_к^2 \right) кГ,$$

где q — удельное давление на контактной поверхности заготовки с пуансоном; приближенно принимается для стали 18ХГТ равным 200 *кГ/мм*^{2}.

Более точно усилие штамповки может быть определено по теоретической формуле, полученной на основании упрощенного анализа напряженно-деформированного состояния, возникающего в различных участках очага деформации при прямом холодном выдавливании внутренних колец конических роликоподшипников.

$$P = \frac{\pi \sigma_s}{4} \left(d'^2_м - d_п^2 \right) \left\{ \frac{h_3}{в} + \frac{A_1}{A_1 - 1} \times \right.$$

$$\times \left[\frac{(A_1 - 1) 2\mu h_1}{A_1 a} + 1 \right] \left(\frac{r'^2_м - r_п^2}{r''^2_м - r_п^2} \right)^{A_1 - 1} \Bigg\} +$$

$$+ \left(d_м^2 - d'^2_м \right) \left\{ \left[\frac{h_3}{2в} + \left(\frac{2\mu h_1}{a} + \frac{A_1}{A_1 - 1} \right) \right.\right.$$

$$\left. \left. \left(\frac{r'^2_м - r_п^2}{r''^2_м - r_п^2} \right)^{A_1 - 1} \right] 1 + \frac{\left(\frac{r_м}{r'_м} \right) 1{,}6 \mu \frac{r_м}{h_3}}{2} + 1 \right\},$$

где

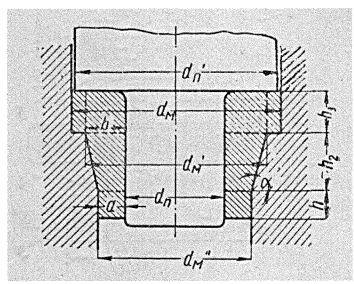
$$A_1 = \frac{1}{\cos\alpha} + \frac{\mu}{\sin\alpha} + \frac{\mu k_x}{\operatorname{tg}\alpha};$$

$$k_x = \frac{r_п}{r_{ср}}; \qquad r_{ср} = \frac{r'_м + r''_м}{2} \; мм,$$

μ — коэффициент трения, принимаемый равным 0,15 ÷ 0,20;

σ_s — предел текучести, принимаемый для стали 18ХГТ равным 40 ÷ ÷ 45 *кГ/мм*^{2}.

Остальные величины, входящие в формулу, принимают в соответствии с обозначениями на фиг. 24.



Фиг. 24. Схема холодной штамповки заготовок внутренних колец конических роликоподшипников к формуле определения усилия штамповки.

Проектирование сменного штамповочного инструмента. Сменные рабочие детали штампов для вырубки-пробивки заготовочных шайб, вывертывания шайб в кольцевой полуфабрикат и объемной штамповки колец заданной формы и размеров проектируют по табл. 57. Работоспособность матриц для выполнения операций прямого и обратного выдавливания обеспечивается скреплением их тремя бандажами.

Назначение диаметральных размеров матрицы и бандажей в соответствии с обозначениями на фиг. 25 производится на основании эмпирических данных по формулам:

диаметр рабочей полости матрицы $d_м = 1{,}020\, D_к$ *мм*;

наружный диаметр матрицы $D_{1м} = 1{,}225\, D_к$ *мм*;

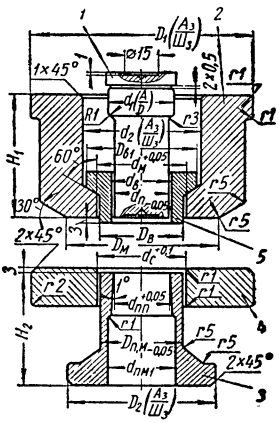
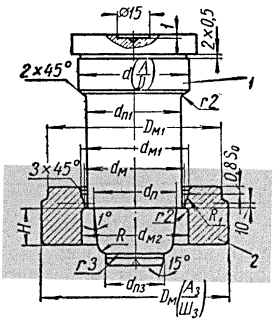
внутренний диаметр бандажа, сопряженного с матрицей, с учетом оптимального натяга, $d'_{бм} = 1{,}200\, D_к$ *мм*;

наружный диаметр сопряженного с матрицей бандажа $D_{бм} = 1{,}608\, D_к$ *мм*;

внутренний диаметр среднего бандажа с учетом оптимального натяга $d_{бс} = 1{,}600 D_к$ *мм*;

57. Проектирование сменного рабочего инструмента для холодной

Инструмент

вырубки-пробивки заготовочных шайб	вывертывания заготовок
	
$D_в = d_м - 0{,}05$ *мм*; $D_{в_1} = d_2 - 2{,}0$ *мм*; $d_в = d_п + 0{,}1$ *мм*: $d_п = d_э$; $D_м = d_м + (30 \div 40)$ *мм*; $d_м = D_э$; $d_c = D_{пм} + (0{,}1 \div 0{,}2)$ *мм*; $D_{пм} = d_м - 0{,}2s_0$; $d_{пм} = d_п + 0{,}2s_0$; $d_{пм_1} = d_{пм} + 3$ *мм*	$D_{м_1} = D_м - 10$ *мм*; $d_п = d_к + 0{,}5$ *мм*; $d_{п_1} = D_к - 1{,}3$ *мм*; $d_{пэ} = d_э - 0{,}1$ *мм*; $d_м = D_к - 1{,}0$ *мм*; $d_{м_1} = D_э + 0{,}2$ *мм*; $d_{м_2} = d_м + 6$ *мм*; $H = H_к + 5$ *мм*; $R = \frac{d_п}{2} - H \operatorname{tg} 1°$; $R_1 = 1{,}7(D_э - D_к)$

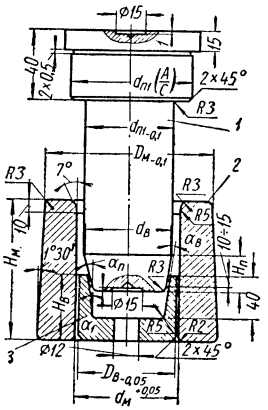
№ детали	Наименование детали	Марка стали	Термообработка
1	Пуансон	ШХ15; Х12Ф; Х12; 50ХГС	*HRC* 56—60
2	Матрица	ШХ15; Х12Ф; Х12; 50ХГС	*HRC* 56—60
3	Пуансон — матрица	ШХ15; Х12Ф; Х12; 50ХГС	*HRC* 56—58
4	Съемник	40; 35; 45; 50	—
5	Выталкиватель	40; 35; 45; 50	*HRC* 35—40

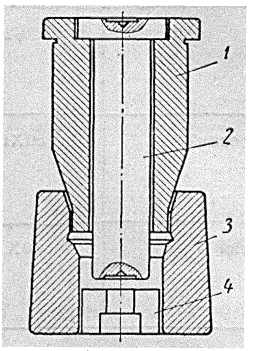
№ детали	Наименование детали	Марка стали	Термообработка
1	Пуансон	ШХ15; 50ХГС	*HRC* 55—60
2	Матрица	ШХ15	*HRC* 54—58

штамповки заготовок колец конических роликоподшипников

для

объемной штамповки наружных колец	объемной штамповки внутренних колец





$$D_м = 1{,}225 D_к;$$

$$D_в = d_м - (0{,}1 \div 0{,}5)\ мм;$$

$$d_м = D_к - (0{,}1 \div 0{,}3)\ мм;$$

$$d_п = d_к + 2H_к \operatorname{tg} \alpha + 0{,}5\ мм;$$

$$d_в = d_к - (0{,}15 \div 0{,}5)\ мм;$$

$$H_п = H_к + 10\ мм;$$

$$\alpha_п = \alpha_к - (0°10' \div 0°15');$$

$$\alpha_в = \alpha_п - 2°;$$

$$\alpha_1 = \alpha_в - 5°$$

№ детали	Наименование детали	Материал	Термообработка
1	Пуансон	Поковка 50ХГС	Цианировать 1—1,5 *мм*; калить *HRC* 60—64
2	Матрица	Поковка Х12Ф	*HRC* 52—54
3	Выталкиватель	Поковка 50ХГС	*HRC* 52—55

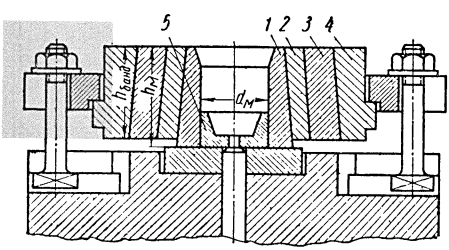
№ детали	Наименование детали	Материал	Термообработка
1	Наружный пуансон	Х12Ф	*HRC* 58—60
2	Внутренний пуансон	Х12Ф	Цианировать 1,0—1,5 *мм*; калить *HRC* 60—64
3	Матрица	Х12Ф	*HRC* 55—58
4	Выталкиватель	ШХ15	*HRC* 55—58

58. Материал для блока матрицы

Наименование детали	Материал	Твердость после термообработки	Способ изготовления заготовки
Матрица	ШХ15	*HRC* 52—54	Труба или поковка с аксиальным расположением волокон
Бандаж внутренний	50ХГС	*HRC* 50—53	Поковки с тангенциальным расположением волокон
Бандаж средний	40ХН	*HRC* 42—45	То же
Бандаж наружный	40ХН	*HRC* 35—38	»

наружный диаметр среднего бандажа $D_{бс} = 2{,}204\ D_к$ *мм*;

внутренний диаметр внешнего бандажа, с учетом оптимального натяга, $d_{бв} = 2{,}200\ D_к$ *мм*;



Фиг. 25. Блок матрицы для холодной штамповки заготовок наружных колец конических роликоподшипников: *1* — матрица; *2* — внутренний бандаж; *3* — средний бандаж; *4* — наружный бандаж; *5* — выталкиватель.

наружный диаметр внешнего бандажа $D_{бв} = 3{,}00\ D_к$ *мм*.

Высота матрицы принимается равной, примерно, трехкратной высоте штампуемого кольца, а бандажи должны иметь высоту $h_б$ на 2—3 *мм* меньше для гарантии базирования всего блока на опорную плоскость матрицы. Сопрягаемые поверхности бандажей и матрицы имеют угол наклона образующей $\alpha = 1°30'$ и должны удовлетворять 8-му классу чистоты поверхности.

Наряду с соблюдением указанных выше правил конструирования, высокая стойкость матриц обеспечивается надлежащим выбором исходных материалов для изготовления каждого из элементов блока, технологией их изготовления и сборки.

Марки сталей конструктивных элементов блока матрицы и их твердость после термообработки выбираются по табл. 58.

Сборка блока матрицы производится запрессовкой в холодном состоянии. Последовательность сборки следующая: запрессовка среднего бандажа во внешний, затем запрессовка внутреннего бандажа в средний и, наконец, запрессовка матрицы в трехслойный бандаж. Соблюдение всех указанных условий конструирования, изготовления и сборки обеспечивает среднюю стойкость матриц порядка 12 000—15 000 деталей. Замена изношенной матрицы производится выпрессовкой изношенной из бандажа и запрессовкой в него новой матрицы.

РАСЧЕТ НОРМ ВЫРАБОТКИ НА ШТАМПОВКУ И РАСКАТКУ ЗАГОТОВОК

В табл. 59—65 даны расчеты норм выработки на штамповку заготовок на ГКМ, на штамповку на молотах и раскатку заготовок на раскаточной машине модели МГР-250.

Техническая норма выработки на штамповку заготовок на ГКМ определяется по формуле:

$$N = \frac{480 - (T_{обс} + T_н)}{T_{оп}} \text{ шт.},$$

где N — техническая норма выработки в шт.;

$T_{обс}$ — время обслуживания машины и рабочего места в мин. (табл. 59);

$T_н$ — время на естественные надобности в мин. (табл. 59);

$T_{оп}$ — оперативное время в мин. на одну штуку, равное

$$T_{оп} = t_м + \frac{t_1}{n} + t_2 + t_3;$$

$t_м$ — основное (машинное) время в мин. на одну штуку, равное

$$\left(1 + \frac{1}{2k}\right)\frac{i}{a} \text{ (табл. 59)};$$

t_1 — время на загрузку прутка в печь, подачу его к машине, очистку от окалины в мин. (табл. 60);

t_2 — время на установку и подачу прутка из ручья в ручей в мин. (табл. 60);

t_3 — время на первую осадку в мин. (табл. 61);

i — число ручьев при штамповке на ГКМ;

n — количество поковок, снимаемое с одного нагрева, определяется

$$n = \left(\frac{t_o - t_1}{t_м - t_2}\right) A;$$

t_o — время остывания прутка с начальной температуры (1050°) до конечной (850°), приведено в табл. 60;

K — число возможных включений (табл. 59);

a — число двойных ходов (табл. 59);

A — коэффициент, учитывающий сложность поковок.

Техническая норма выработки на штамповку заготовок на молотах

$$N = \frac{480 - (T_{обс} + T_н)}{T_{оп}} K \text{ шт.},$$

где $T_{обс}$ — время обслуживания машины и рабочего места в мин. (табл. 62);

$T_н$ — время на естественные надобности в мин. (табл. 62);

$T_{оп} = T_м + t_{всп}$ в мин. На одну заготовку $T_{оп} = nt_м + t_{всп}$;

n — необходимое количество ударов при штамповке (табл. 64);

$t_м$ — время одного удара в мин. (табл. 62);

K — поправочный коэффициент, учитывающий время на загрузку и нагрев заготовок первой осадки (табл. 63);

$t_{всп}$ — время на приемы штамповщика в мин. (табл. 63).

Техническая норма выработки на раскатку заготовок (раскаточная машина модель МГР-250)

$$N = \frac{480 - (T_{обс} + T_н)}{T_{оп}} \text{ шт.};$$

$$(T_{обс} + T_н) = 65 \text{ мин.}$$

$$T_{оп} = t_м + t_{всп} = \frac{i}{n60} + t_{всп} \text{ мин.},$$

где $t_{всп}$ — вспомогательное время на рабочие приемы раскатчика в мин. (табл. 65);

59. Время $t_м$, $T_{обс}$ и $T_н$ в зависимости от типа ГКМ

Тип ГКМ		2″	3″	3,5″	4″	5″	6″	7″	8″
K		4	4	4	6	6	6	6	6
a		42	36	32	30	28	27	23	27
$i = 2$	$t_м$ в мин.	0,054	0,063	0,070	0,073	0,077	0,080	0,094	0,030
$i = 3$		0,080	0,094	0,106	0,108	0,116	0,120	0,141	0,120
$(T_{обс} + T_н)$ в мин.		62,4			72,0			86,4	

60. Вспомогательное время t_1, t_2 и t_0 в мин.

Размеры прутков в *мм*																							
Вспомогательное время	25	27	30	33	36	39	42	45	48	52	56	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120
t_1	0,162		0,181		0,210		0,273		0,296		0,333		0,398		0,495		0,553		0,605		0,703	
$i = 2$ t_2	0,028		0,033		0,042		0,048		0,058		0,062		0,086		0,110		0,144		0,160		0,190	
$i = 3$ t_2	7,048		0,060		0,079		0,100		0,118		0,145		0,174		0,211		0,250		0,290		0,371	
t_0	0,62	0,57	0,75	0,85	0,93	1,03	1,11	1,22	1,33	1,52	1,7	1,83	1,97	2,12	2,25	2,42	2,55	2,68	2,98	3,0	3,3	3,53

61. Время $t_в$ на первую осадку, отнесенное к одной поковке

Число поковок из одного прутка	Размеры прутков в *мм*																					
	25	27	30	33	36	39	42	45	48	52	56	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120
20	—		—		—		—		—		—		—	—	—	—	—	—	—	0,068	0,074	0,075
30	—		—		—		—		—		—		—	—	—	—	—	—	—	0,044	0,047	0,050
40	—		—		—		—		—		—		—	—	—	—	—	0,029	0,031	0,034	0,037	0,040
50	—		—		—		—		—		—		0,016	0,017	0,019	0,020	0,021	0,023	0,025	0,024	0,029	0,030
60							0,011		0,012		0,013		0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,021	0,023	0,024	0,026
70	0,007		0,008		0,008		0,009		0,010		0,011		0,012	0,013	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018	0,019	0,020	0,022
80	0,006		0,006		0,007		0,007		0,008		0,009		0,010	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013	0,016	0,016	0,017	–
90	0,005		0,005		0,006		0,006		0,007		0,008		0,009	0,010	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014	–	–
100	0,004		0,004		005		0,005		0,006		0,007		0,008	0,008	0,009	0,010	–	–	–	–	–	–
110	0,004		0,004		0,005		0,005		0,005		0,007		0,007	0,008	0,008	0,009	–	–	–	–	–	–
120	0,003		0,003		0,004		0,004		0,005		0,006		0,007	0,008	—	—	—	—	–	–	–	–

62. Время $t_м$, $T_{обс}$ и $T_н$ в зависимости от типа молота

Тип молота	300 *кГ*	500 *кГ*	1000 *кГ*	1500 *кГ*	2000 *кГ*	3000 *кГ*
$t_м$ в мин.	0,015	0,016	0,02	0,025	0,023	0,028
$T_{обс}+T_{tt}$	54	54	75	75	93	98

63. Поправочный коэффициент

Вес заготовок в *кГ*	До 1	До 2	До 4	До 6	До 8	До 10	До 13	До 16	До 19
$t_{всп}$ в мин.	0,063	0,093	0,138	0,185	0,223	0,263	0,318	0,380	0,413
K	0,95	0,925	0,894		0,854				

64. Число ударов при штамповке на молотах

Тип молота	Вес заготовок в *кГ*	Высота заготовок *мм*			
		До 10	До 15	До 20	До 25
		Число ударов n			
300—500 *кГ*	До 1,0	7	5	4	—
1—1,5 *т*	» 2,0	8	6	5	4
2—3 *т*	» 6,0	10	8	6	4
	» 8,0	12	10	8	6
	» 10,0	20	18	14	12
	» 13,0	22	20	16	14

65. Вспомогательное время на рабочие приемы в мин.

Вес заготовки в *кГ*	0,3—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5
$t_{всп}$ в мин.	0,03	0,031	0,033	0,035	0,038

n — фактическое число оборотов заготовки на центральном раскатном ролике принимается экспериментально;

i — чисто оборотов, потребное для окончательной раскатки заготовки, равное $i = \frac{A}{a}$ обор.

$A = \frac{(D_з - d_з) - (D_р - d_р)}{2}$ *мм* — величина обжатия;

a — удельное обжатие, равное обжатию заготовки за один оборот (принимается по экспериментальным данным).

здесь $D_з$ и $d_з$ — наружный и внутренний диаметры заготовок под раскатку в *мм*;

$D_р$ и $d_р$ — наружный и внутренний диаметры раскатанной заготовки в *мм*.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Львов Д. С., Рождественский Ю. Л., Абрамов А. В., Литвак Л. К., Штамповка кольцевых заготовок, Машгиз, 1958.

2. Нестеров С. Н., Нормирование расхода материалов на машиностроительных заводах, Машгиз, 1955.

3. Технология подшипникостроения, ЭНИИПП, 1958.

4. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. 6, Машгиз, 1948.

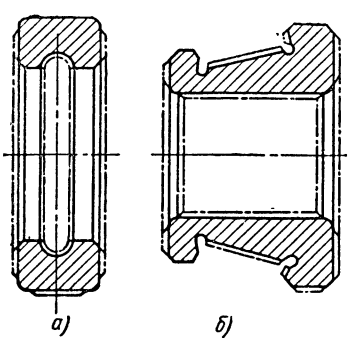
Глава XVII

ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Заготовки колец подшипников подвергаются полной или частичной обработке резанием.

Основным методом обработки колец подшипников является точение. Лишь незначительная часть конструкций (менее 1%), имеющих отверстие для смазки, канавки для ввода шариков или шпоночные пазы, проходит дополнительную обработку соответственно сверлением, фрезерованием или протягиванием.

При достигнутом техническом уровне применяемых заготовок или исходного металла доля трудоемкости механической обработки резанием в общей трудоемкости производства колец составляет в среднем 30%.



Фиг. 1. Кольца с припуском на шлифование: *а)* — наружное кольцо шарикового радиального подшипника; *б* — внутреннее кольцо подшипника с коническими роликами.

Все рабочие и монтажные поверхности колец после термической обработки шлифуются для обеспечения необходимой точности размеров и чистоты поверхности. Нерабочие поверхности колец, как например, наружные поверхности внутренних колец, также обтачивают с припуском на шлифование для создания установочных баз при их последующей обработке. Таким образом, все поверхности колец нормальной точности, за исключением фасок и внутренних нерабочих поверхностей наружных колец, обтачиваются с припуском на шлифование (фиг. 1).

Расчетный припуск на шлифование равен сумме минимального припуска и допуска на точность размеров при токарной обработке [1].

ТОЧНОСТЬ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЕЦ И ПРИПУСКИ НА ШЛИФОВАНИЕ

Точность размеров при токарной обработке зависит от геометрической точности станка, жесткости технологической системы (станок — зажимные приспособления — деталь — инструмент), температурных деформаций этой системы, стабильности механических свойств обрабатываемой детали и припусков на обработку, точности профилирующих режущих инструментов, износа инструментов, в процессе резания и многих других факторов.

Величина минимального припуска на шлифование, в свою очередь, зависит от точности формы и взаимного расположения обработанных поверхностей колец, шероховатости обработанной поверхности, величины дефектного слоя и изменения ее размеров и формы в результате термической обработки.

Экономическая точность при токарной обработке колец на одношпиндельных и многошпиндельных прутково-трубных и патронных автоматах, многорезцовых станках и крупных токарных и карусельных станках в зависимости от степени изношенности этих станков и условий производства соответствует 3а классу точности ОСТ НКМ 1027 или 4 классу точности ОСТ 1024 для диаметров

до 500 *мм*, а для колец размером свыше 500 *мм* — 3а или 4 классу точности по ГОСТ 2689-54.

Допуски на длину образующих тел вращения (высота колец, толщина бортов и др.) назначаются в зависимости от диаметра соответствующей торцовой поверхности.

Допуски на размеры по 3а и 4-му классу точности приведены в табл. 1.

1. Допуски на размеры колец в *мм*

Номинальные диаметры в *мм*		Класс точности		Номинальные диаметры в *мм*		Класс точности	
свыше	до	3а	4-й	свыше	до	3а	4-й
1	3	0,04	0,06	180	260	0,19	0,30
3	6	0,05	0,08	260	360	0,20	0,34
6	10	0,06	0,10	360	500	0,25	0,38
10	18	0,07	0,12	500	630	0,28	0,45
18	30	0,08	0,14	630	800	0,30	0,50
30	50	0,10	0,17	800	1000	0,35	0,55
50	80	0,12	0,20	1000	1250	0,40	0,60
80	120	0,14	0,23	1250	1600	0,45	0,65
120	180	0,16	0,26	1600	2000	0,50	0,75

Допуски на угловые размеры для конических поверхностей колец подшипников после их токарной обработки соответствуют II группе [2] точности и приведены в табл. 2.

Основные виды погрешностей и допустимые отклонения геометрической формы и взаимного расположения поверхностей для колец после их токарной обработки приведены в табл. 3.

Величины припусков на шлифование поверхностей колец подшипников нормальной точности из стали ШХ15 и ШХ15СГ в зависимости от диаметра их наружной поверхности приведены в табл. 4.

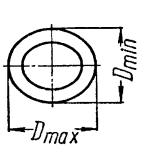
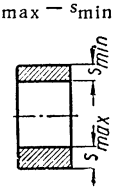
Приведенные в табл. 4 припуски относятся к кольцам, жесткость которых определяется отношением $\frac{D-d}{2D} > 0{,}05$, или наружный диаметр которых больше чем в 2 раза превышает длину образующей цилиндра.

Припуски на цилиндрические поверхности тонкостенных колец (обычно подшипников особо легких и сверхлегких

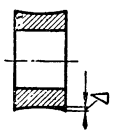
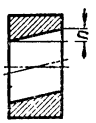
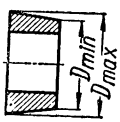
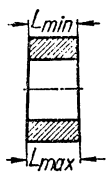
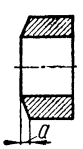
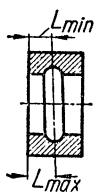
2. Допуски на угловые размеры для конических поверхностей колец

Допуски и линейное отклонение	Длина стороны угла в *мм*							
	До 18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—260	260 до 500
Допуски в угловых единицах	15′	10′	7′30″	5′	4′	3′20″	2′	1′30″
Линейное отклонение на 10 *мм*	0,04	0,03	0,02	0,015	0,012	0,01	0,006	0,004

3. Допускаемые отклонения геометрической формы и взаимного расположения поверхностей колец после токарной обработки

Вид погрешностей	Допускаемые отклонения	Вид погрешностей	Допускаемые отклонения
Овальность $D_{max} - D_{min}$ 	2/3 поля допуска на диаметр	Разностенность $s_{max} - s_{min}$ 	2/3 допуска на размер

Продолжение табл. 3

Вид погрешностей	Допускаемые отклонения	Вид погрешностей	Допускаемые отклонения
Непрямолинейность Δ 	$^1/_3$ допуска на размер	Неперпендикулярность n 	$^1/_3$ допуска на размер по длине поверхности
Конусность цилиндрических поверхностей $D_{max} - D_{min}$ 	$^1/_2$ допуска на диаметр	Непараллельность торцов $L_{max} - L_{min}$ 	Поле допуска на размер
Конусность торцов a 	Для базового $^1/_3$ допуска на размер; для противобазового $^1/_2$ допуска на размер	Допуск на смещение и непараллельность оси поверхности качения к торцу 	От $^1/_3$ до $^1/_2$ допуска на размер

4. Припуски на шлифование поверхностей колец в *мм*

Номинальные наружные диаметры в *мм*		Наружная поверхность	Отверстие	Торцы
свыше	до			
3	10	0,10—0,15	0,10—0,15	0,10—0,15
10	30	0,15—0,20	0,15—0,25	0,15—0,18
30	50	0,20—0,25	0,25—0,30	0,18—0,20
50	80	0,25—0,30	0,30—0,35	0,20—0,25
80	120	0,30—0,35	0,35—0,40	0,25—0,3
120	180	0,35—0,5	0,40—0,45	0,3—0,4
180	260	0,5—0,7	0,45—0,6	0,4—0,5
260	360	0,7—1,1	0,6—0,8	0,5—0,6
360	500	1,1—1,5	0,8—1,0	0,6—0,9
500	630	1,5—1,9	1,0—1,1	0,9—1,3
630	800	1,9—2,5	1,1—1,3	1,3—1,9
800	1000	2,5—3,1	1,3—1,7	1,9—2,5
1000	1250	3,1—3,7	1,7—2,2	2,5—3,4
1250	1600	3,7—4,5	2,2—2,7	3,4—4,2
1600	2000	4,5—5,5	—	4,2—5,0

серий), у которых $\frac{D-d}{2D} < 0{,}05$, а также для особо широких колец с высотой более половины их диаметра, следует увеличивать на 20—30%.

Припуски на поверхности качения для колец размером до 260 *мм* следует увеличивать по сравнению с монтажными поверхностями на 20—25%.

Припуски на шлифование нерабочих поверхностей колец, как например, наружных поверхностей внутренних колец, уменьшаются в 2 раза по сравнению с приведенными в табл. 4.

Односторонние припуски на шлифование поверхностей качения упорных подшипников, бортов колец роликоподшипников принимаются равными $^2/_3 — ^3/_4$ припуска на торцовые поверхности. При-

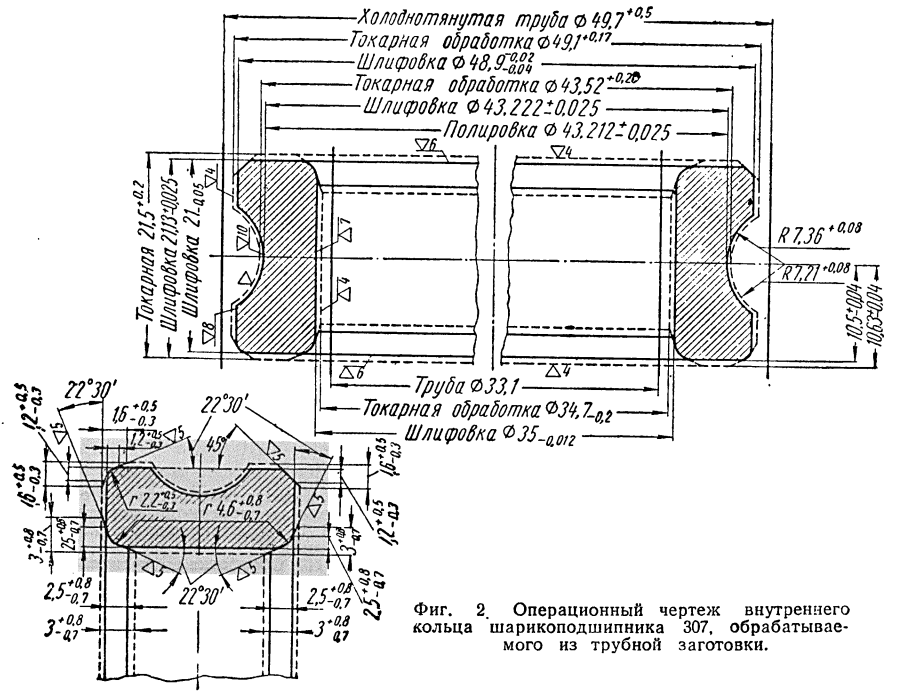
пуски на торцы упорных колец более приведенных в табл. 4 на 15—20%.

Шероховатость обработанной поверхности после токарной обработки должна соответствовать ▽4— ▽ 5 по ГОСТ 2789-59.

Поверхности, не шлифуемые в дальнейшем, особенно монтажные фаски, не должны иметь заметных рисок и царапин.

и технологической оснастки, уменьшение деформаций от зажима колец, улучшение чистоты обработанной поверхности и уменьшение деформаций и изменения размеров колец при термической обработке.

Контроль чистоты обработанной поверхности в цеховых условиях производят сравнением с эталоном, а глубины механических дефектов — индикатором



Фиг. 2. Операционный чертеж внутреннего кольца шарикоподшипника 307, обрабатываемого из трубной заготовки.

На обработанных поверхностях колец не допускаются следы поверхности заготовок или исходного металла: черноты, заштамповки, трещины, а также механические дефекты. Глубина механических дефектов на обработанной поверхности (вибрации, заусенцы, срезы, риски, царапины, вмятины и забоины) не должна превышать 20% величины минимального припуска.

Уменьшение припусков на шлифование является весьма актуальной задачей для подшипниковой промышленности. Основными направлениями снижения припусков являются: повышение точности при токарной обработке колец за счет увеличения жесткости станков

или миниметром с острым наконечником.

Контроль размеров колец, погрешности формы, а также взаимного расположения поверхностей после токарной обработки производят обычно на рычажных приборах относительного измерения, снабженных миниметрами с ценой деления 0,01 *мм*. Приборы налаживают по эталонам.

Для контроля размеров мелкогабаритных колец, а также для контроля положения оси дорожек качения от торца, толщины бортов, размеров канавок и радиуса желобов колец применяют предельные калибры, скобы и шаблоны. Для измерения координат фасок применяют координатные угольники.

В подшипниковой промышленности межоперационные припуски и допуски по всему циклу обработки принято указывать на одном чертеже изделия, называемом *операционным чертежом.*

В операционном чертеже, являющемся одним из основных технологических документов, по которому изготовляют и контролируют кольца в производстве, объединены размеры детали после каждой технологической операции.

Образец операционного чертежа для обработки внутреннего кольца шарикоподшипника 307 из трубной заготовки показан на фиг. 2.

МАРШРУТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЕЦ

Технология токарной обработки колец определяется в основном видом исходного металла или заготовки, конфигурацией и размерами колец, серийностью их производства.

Основными направлениями совершенствования токарной обработки являются: концентрация операций с использованием, где это возможно, многошпиндельных станков; применение полного комплекта твердосплавного инструмента и скоростных режимов резания; автоматизация и механизация вспомогательных операций, главным образом загрузочно-разгрузочных, а также применение взаимозаменяемых инструментов и прогрессивного метода размерной наладки их вне станка [3].

Основным направлением организации производства в области токарной обработки является автоматизация отдельных операций, создание автоматических поточных линий.

В табл. 5 приведена маршрутная технология токарной обработки колец из основных видов исходного металла и заготовок при крупносерийном и массовом производстве.

5. Маршрутная технология токарной обработки колец

Вид заготовки и марка стали	Размеры в *мм*	Типы колец	Технологический маршрут и оборудование
Пруток холоднокатаный калиброванный, ШХ15	До 12	Все типы	Операция I. Полная обработка на одношпиндельном токарно-револьверном автомате. Операция II. Шлифование торца на плоскошлифовальном автомате. * Операция III. Обработка внутренней фаски на доделочном автомате.
	12—25		Операция I. Полная обработка на многошпиндельном прутковом автомате. Операция II. Шлифование торца на плоскошлифовальном автомате. * Операция III. Обработка внутренней фаски на доделочном автомате.
Труба холоднокатаная, ШХ15	25—40	Все типы	Полная обработка на многошпиндельном автомате за одну операцию
	40—120	Наружные и внутренние кольца радиальных, радиально-сферических, радиально-упорных шарикоподшипников и радиальных роликоподшипников	Полная обработка на многошпиндельном автомате за одну операцию
Труба горячекатаная обточенная, ШХ15	90—180		Операция I. Многоместная резка заготовок на труборезном автомате. Операция II. Обработка внутренней поверхности и одного из торцов на многошпиндельном патронном автомате. Операция III. Обработка остальных поверхностей на многошпиндельном патронном автомате или операционном станке

* Обработка фаски может производиться на I операции.

Продолжение табл. 5

Вид заготовки и марка стали	Размеры в *мм*	Типы колец	Технологический маршрут и оборудование
Штучная заготовка (профильная раскатанная, полугорячая калиброванная, штампованная) ШХ15, ШХ15СГ	До 250	Все типы наружных и внутренних колец	Полная обработка за 2 операции на многошпиндельных патронных автоматах
	250—500		Полная обработка за 2—4 операции на одношпиндельных многорезцовых автоматах
	500 и выше		Полная обработка за 2—6 операций[1] на токарных, карусельных станках
Штучная холодноштампованная заготовка 18ХГТ	До 40	Кольца роликовых игольчатых (карданных) подшипников	Операция I. Обработка на многошпиндельном патронном автомате. Операция II. Обработка на доделочном автомате. Операция III. Протягивание паза на протяжном автомате
	40—100	Наружные кольца конических роликоподшипников	Обработка торцов и фасок за 2 операции на доделочных автоматах.

[1] Обработка рабочих поверхностей колец сферических подшипников производится на специальных сферотокарных станках.

После токарной обработки (перед операцией термообработки) кольца подшипников клеймятся[1]. Содержание клейма: № завода-изготовителя, № подшипника и год выпуска. После обработки колец из холоднокатаных труб на многошпиндельных автоматах производится операция шлифования противобазового торца колец на плоскошлифовальных автоматах. Допускается также производить операции обработки канавок, галтелей, выточек на токарно-доделочных автоматах.

Взамен труб возможно изготовление на многошпиндельных автоматах колец диаметром до 65 *мм* из горячекатаных прутков, предварительно обточенных по наружной поверхности на бесцентрово-обдирочных станках. При этом наиболее рациональным является изготовление колец методом комплектной или двухкомплектной обработки наружного и внутреннего колец одновременно.

При мелкосерийном и единичном производстве колец обычно применяют заготовки, аналогичные применяемым при крупносерийном производстве.

Обработку колец даже малыми партиями целесообразно производить на автоматизированном оборудовании, в том числе и на многошпиндельных станках.

В данном случае рекомендуется применять метод групповой наладки при обработке близких по размерам и конфигурации колец для уменьшения времени на переналадку и сокращение номенклатуры инструментов и приспособлений.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЕЦ

Основные типы металлорежущего оборудования для токарной обработки колец подшипников:

1. Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы для колец из прутка диаметром до 12 *мм*.

2. Гамма многошпиндельных прутково-трубных автоматов в четырех-, шести- и восьмишпиндельном исполнении для колец из калиброванных прутков диаметром от 12 до 25 *мм* и из холоднокатаных труб диаметром от 25 до 120 *мм*.

[1] Допускается клеймение только одного из колец подшипника неразборной конструкции, а также электроискровое клеймение после шлифования.

7. Техническая характеристика многошпиндельных горизонтальных прутково-трубных токарных автоматов

Характеристика		Модель											
		1А225	1261М	1А240-6	1262-М	1А240-4	1265М-6	1265М-4**	1265-8	1290	1А290-4	1А290-6	1А290-8**
Число шпинделей		6	6	6	4	4	6	4	8	4	4	6	8
Диаметр обработки в *мм*		25	20—25	20—40	20—50	20—50	40—65	40—80	30—50	70—100	80—125	80—100	50—80
Длина точения в *мм*		150	До 150	До 165	До 150	До 165	До 175	До 175	До 175	До 190	До 250	До 250	До 250
Независимый привод подачи в позициях		III, IV, V, VI	IV, V, VI	III, IV, V, VI	III, IV	III, IV	III, IV, V, VI	III, IV	IV, V, VI, VII, VIII	III, IV	III, IV	II, III, IV, V	II—VII
Независимое сверление в позициях		Во всех	I, III, IV, V	II, III, IV, V, VI	II, III	II, III, IV	II, III, IV, V, VI	II, III, IV	II—VIII	II, III, IV	II, III, IV	II—VI	II—VIII
Количество суппортов	Продольных	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Поперечных	6	4	6	4	4	6	4	6, из них 2 спаренных	4	4	6	6, из них 2 спаренных
Наибольший рабочий ход в *мм*	Продольных суппортов	210	152	180	152	180	180	180	180	205	210	210	210
	Поперечных суппортов	26—58	60—88	30—65	60—88	40—65	70—90	80—90	70—80	125	125	125	125
Индексация		60° в двух позициях III и VI	60°	60° (120°)*	90°	90°	60° (120°)*	90°	45° (90°)*	90°	90°	60° (120°)*	45° (90°)*
Мощность двигателя главного движения в *квт*		14	14	14 или 20	14	14 или 20	28	28	28	28	28 или 40	28 или 40	28 или 40
Габариты станка в *мм*	Длина	5700	5665	5880	5665	5880	5300	5300	5 000	5 360	8 700	8 700	8 700
	Ширина	1250	1200	1350	1200	1350	1720	1720	1 720	1 955	1 955	Ориентировочно 2000	
	Высота	1700	1855	1910	1855	1910	2100	2100	2 100	2 100	2 138	2 138	2 138
Вес в *кГ*		6200	7000	9000	6800	9000	13000	13000	13 000	17 000	17 000	17 000	17 000

* Угол поворота шпиндельного блока при двойной индексации. ** Проектируемый.

8. Техническая характеристика многошпиндельных горизонтальных патронных токарных автоматов и полуавтоматов

Характеристика	Модель										
	1261П	1А24ОП-6	1А24ОП-4	КА-76	КА-78	1265ПМ-6	1265ПМ-4**	1265П-8	1А29ОП-4**	1А29ОП-6**	1А29ОП-8**
Число шпинделей	6	6	4	8	6	6	4	8	4	6	8
Диаметр обработки в *мм*	50—130	50—130	50—160	15—80	50—130	80—160	80—160	50—130	160—250	160—200	80—160
Диаметр зажима в *мм*	30—100	30—100	30—130	15—60	30—100	50—130	50—130	30—100	130—230	130—170	50—130
Длина точения в *мм*	До 120	До 165	До 90	До 120	До 170	До 170	До 170	До 170	До 200	До 200	До 200
Независимая подача в позициях	IV—V	III, IV, V	III—IV	Нет	IV, V	III, IV, V	III, IV	III, IV, V, VI, VII	III, IV	III, IV, V	III—VII
Количество суппортов: Продольных	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Количество суппортов: Поперечных	3	5	4	6	2	5	4	5	4	6	6, из них 2 спаренных
Число оборотов рабочих шпинделей в минуту	65—955	78—1658	63—1320	470—2330	65—955	60—1040	58—732	96—1340	Ориентировочно 40—600	40—700	40—800
Индексация в градусах	60° (120°)	60° (120°)*	90°	45° (90°)*	120°	60° (120°)*	90°	45° (90°)*	90°	60° (120°)*	45° (90°)*
Мощность электродвигателя главного движения в *квт*	14	20	20	14	14	28	28	28	28 или 40	28 или 40	28 или 40
Габариты в *мм*: Длина	3070	3550	3550	2550	3070	3 400	3 400	3 590	Ориентировочно 4000	4000	4000
Габариты в *мм*: Ширина	1440	1350	1350	1060	1440	1 720	1 720	1 720	Ориентировочно 2000	2000	2000
Габариты в *мм*: Высота	1775	1960	1960	1715	1775	2 100	2 100	2 100	2 138	2 138	2 138
Вес в *кГ*	7200	9000	9000	6000	7200	13 200	13 200	13 300	15 000	15 000	15 000

* Угол поворота шпиндельного блока при двойной индексации. ** Проектируемый.

3. Гамма многошпиндельных патронных автоматов и полуавтоматов в четырех-, шести- и восьмишпиндельном исполнении для колец из штучных заготовок диаметром от 40 до 250 *мм*.

4. Труборезные одношпиндельные автоматы для многоместной резки горячекатаных обточенных труб на штучные заготовки диаметром от 90 до 200 *мм*.

5. Гамма многорезцовых одношпиндельных патронных автоматов и полуавтоматов для обработки колец из штучных заготовок диаметром от 200 до 500 *мм*.

6. Гамма операционных токарно-доделочных автоматов для обработки фасок, галтелей, канавок и сферических поверхностей колец диаметром от 20 до 1200 *мм*.

7. Токарные специализированные станки для обработки колец из штучных заготовок диаметром от 500 до 1000 *мм*.

8. Токарно-карусельные станки для обработки колец диаметром от 1000 до 4000 *мм*.

В табл. 6—10 приведены краткие технические характеристики основных видов токарного оборудования для обработки колец подшипников.

6. Техническая характеристика токарного автомата 1А112

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка в *мм*		12
Наибольшая длина точения в *мм*		50
Число оборотов шпинделя в минуту		183—5040
Число гнезд в револьверной головке		6
Число поперечных суппортов		3
Наибольший ход поперечных суппортов в *мм*	Переднего и заднего	32
	Вертикального	30
Мощность электродвигателя главного движения в *квт*		2,8
Габариты станка в *мм*	Длина	1540
	Ширина	625
	Высота	1330
Вес станка в *кГ*		950

9. Техническая характеристика труборезного автомата ТТ51

Наибольший диаметр обрабатываемых труб в *мм*		150
Число оборотов шпинделя в минуту		36—374
Число поперечных суппортов		2
Подачи суппортов в *мм/мин*		5,3—35 гидравлическая синхронизированная
Поперечный ход суппортов в *мм*		100
Мощность электродвигателя главного движения в *квт*		10
Габариты станка в *мм*	Длина	4950
	Ширина	1600
	Высота	1895
Вес станка в *кГ*		7750

10. Техническая характеристика одношпиндельных токарных патронных станков

Техническая характеристика		Модель станка	
		МР-5	МР-4
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки в *мм*		320	500
Наибольшая длина обтачивания в *мм*		150	200
Пределы чисел оборотов шпинделя в минуту		52—400	28,9—225,3
Число суппортов	Продольных	2	2
	Поперечных	1	1

Продолжение табл. 10

Техническая характеристика		Модель станка	
		МР-5	МР-4
Мощность электродвигателя главного движения в *квт*		17	55
Габариты станка в *мм*	Длина	3000	2 620
	Ширина	1860	2 230
	Высота	1540	3 035
Вес станка в *кГ*		5500	10 254

БАЗИРОВАНИЕ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ

Основным фактором, влияющим на построение технологического процесса, является базирование обрабатываемых деталей по всему технологическому циклу.

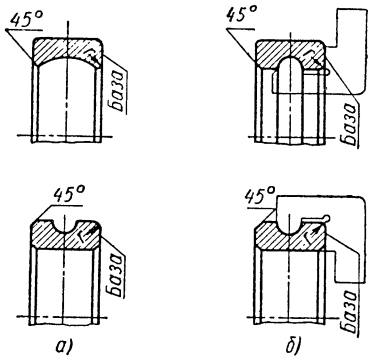
При обработке колец из прутково-трубной заготовки черновой (исходной) установочной базой служит наружная поверхность прутка или трубы, а для штучных заготовок—наружная или внутренняя поверхность и один из торцов.

Черновое базирование штучных заготовок по наружной поверхности предпочтительнее, чем по внутренней, вследствие того, что точность окончательной токарной обработки на базе отверстия выше, чем при базировании по наружной. Кроме того, при черновом базировании по наружной поверхности достигается экономия металла, обусловленная уменьшением припуска по наружной поверхности на величину разностенности заготовки. Эта экономия пропорциональна отношению наружного и внутреннего диаметра колец.

При выборе исходной черновой базы [1] следует соблюдать условие технологической целесообразности выполнения всех последующих операций, а также учитывать конструктивные особенности оснастки. Так, для наружных колец конических роликоподшипников зажимное устройство (съемная цанга) для точного центрирования по конической обработанной поверхности получается сложным и неудобным, особенно для крупных диаметров — свыше 100 *мм*. Поэтому в качестве черновой базы для этих колец рекомендуется внутренняя поверхность и широкий торец.

Базовым торцом колец после их токарной обработки принято называть торец, являющийся первой черновой базой при шлифовании.

Перпендикулярность базового торца к соответствующей поверхности кольца обеспечивается одновременной токарной обработкой этих поверхностей в одну установку. Базовый торец кольца (фиг. 3) отмечается для симметричных конструкций колец круглой фаской, выполняемой при токарной обработке на нерабочей поверхности кольца.



Фиг. 3. Технологические базы колец после их токарной обработки: *а* — базовый торец у симметричных конструкций колец отмечается круглой фаской на нерабочей поверхности кольца; *б* — контроль положения поверхности качения предельным шаблоном от базового торца.

Для несимметричных конструкций колец чистовая база специально не отмечается. С целью уменьшения припусков на шлифовальную обработку поверхностей качения расположение их контролируется от базового торца. Обычно, чтобы не нарушать точность последующего базирования, клеймение колец производят на противобазовом торце.

ТИПОВЫЕ ПЛАНЫ НАЛАДОК СТАНКОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ

Основными условиями при установлении последовательности обработки и расположения режущих инструментов являются: максимально-возможное сокращение рабочих путей инструмента, разделение операций на чистовые и черновые, равномерное распределение инструментов по инструментальным шпинделям, максимальное использование нормализованной оснастки и режущего инструмента, соблюдение удобства раз-

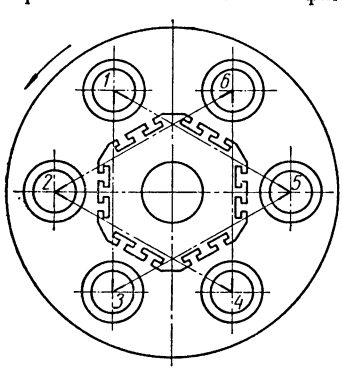
мерной наладки и смены режущих инструментов.

Для сокращения машинного времени на обработку общую длину рабочего хода следует распределять между черновыми инструментами, а для чистовых проходов (обточка, расточка) применять ускоренную независимую подачу.

Значительное сокращение машинного времени достигается при обработке поверхностей методом врезания, где это допускается жесткостью технологической системы. Для получения высокой чистоты обработанной поверхности при работе методом врезания следует уменьшать подачи в конце цикла и производить выдержку (2—5 оборотов изделия) инструмента на жестком упоре.

Рекомендуется применение многоинструментных блоков, позволяющих производить несколько переходов обработки за один рабочий ход. Блоки представляют собой набор инструментов, укрепляемых в одной державке и имеющих общее движение подачи.

Наибольшее увеличение производительности достигается изготовлением колец по 2 шт. одновременно за один цикл работы станка. Технологически эта задача значительно упрощается при использовании шести- или восьмишпиндельных станков с двойным индексированием шпиндельного блока станка. Схема шестишпиндельного станка с двойным индексированием показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Схема двойного индексирования шпиндельного блока 6-шпиндельного автомата.

На позициях *1*, *3*, *5* обрабатывается одно кольцо, на позициях *2*, *4*, *6* — второе.

Эти станки могут использоваться и с нормальной индексацией. При этом последовательность работы будет *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6* позиции.

Основные типовые наладки при токарной обработке колец

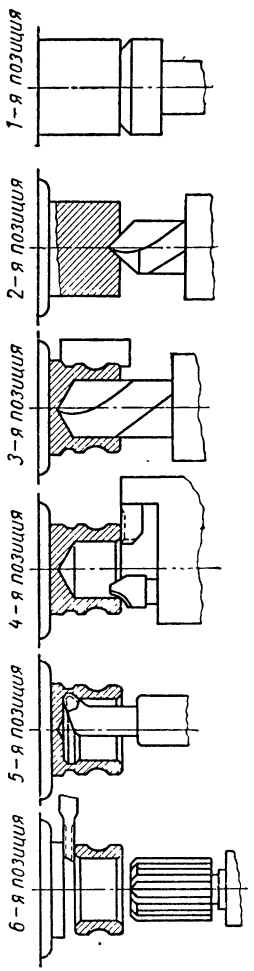
Кольца диаметром до 10 *мм* обрабатывают из калиброванного прутка по одному или по два одновременно на одношпиндельных токарно-револьверных автоматах (фиг. 5).

Кольца диаметром от 10 до 25 *мм* обрабатывают на многошпиндельных автоматах. В зависимости от конструкции колец и типоразмера их допускается дополнительная обработка канавок, галтелей и фасок на операционных станках.

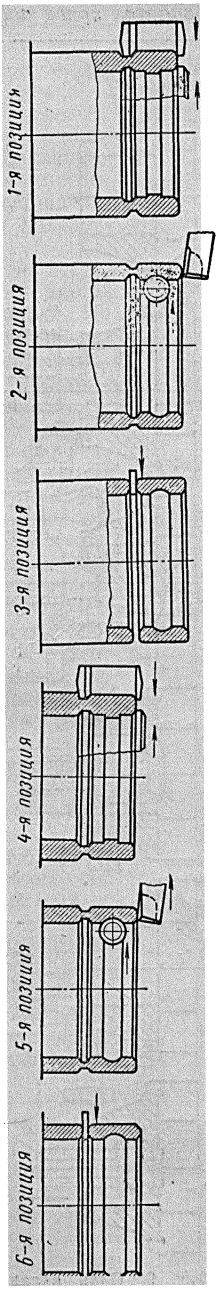
Кольца диаметром от 25 до 120 *мм* изготовляют по одному или по два за цикл из холоднокатаных труб на многошпиндельных автоматах. На фиг. 6 приведен вариант наладки шестишпиндельного автомата на последовательную обработку двух наружных колец шарикоподшипника. На загрузочной позиции труба подается на длину, обеспечивающую обработку двух колец. На позициях *1*, *2*, *3* производится полная обработка и отрезка одного кольца; затем на позициях *4*, *5*, *6* аналогично обрабатывается второе кольцо. Обработка наружной и внутренней поверхностей кольца в одной позиции обеспечивает минимальную их разностенность. У обоих колец подрезаются торцы, что гарантирует точное расположение желоба относительно базового торца.

На фиг. 7 приведена наладка четырехшпиндельного автомата на обработку одновременно двух наружных колец шарикоподшипников из труб. В данном случае труба также подается на два кольца по длине. Расточку отверстия производят в двух позициях. Обточка внутреннего профиля обоих колец выполняется одним фасонным резцом в позиции *3*; подрезка торца и одновременная отрезка двух колец — в *4* позиции. Подрезной и отрезные резцы предварительно настраивают вне станка на размер в специальном приспособлении.

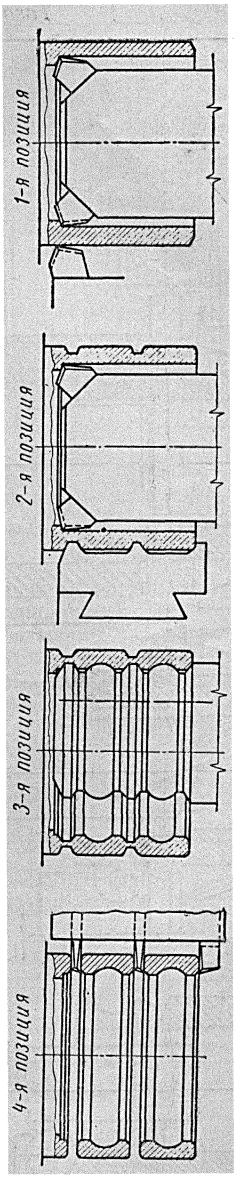
Пример обработки внутренних колец шарикоподшипников в цехе массовых подшипников 1ГПЗ на шестишпиндельном автомате с двойной индексацией показан на фиг. 8. На позициях *2* и *3* производится параллельно обточка, расточка внутренней поверхности и предварительная обточка желоба и фасок. На позициях *4* и *5* производится окончательная обточка желоба, подрезка торца и выточка внутренней фаски, а



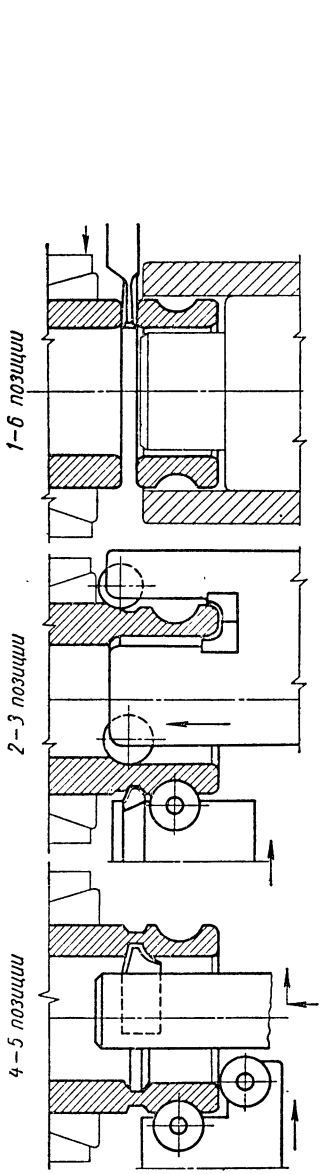
Фиг. 5. План наладки одношпиндельного токарно-револьверного автомата на обработку внутреннего кольца шарикоподшипника из калиброванного прутка.



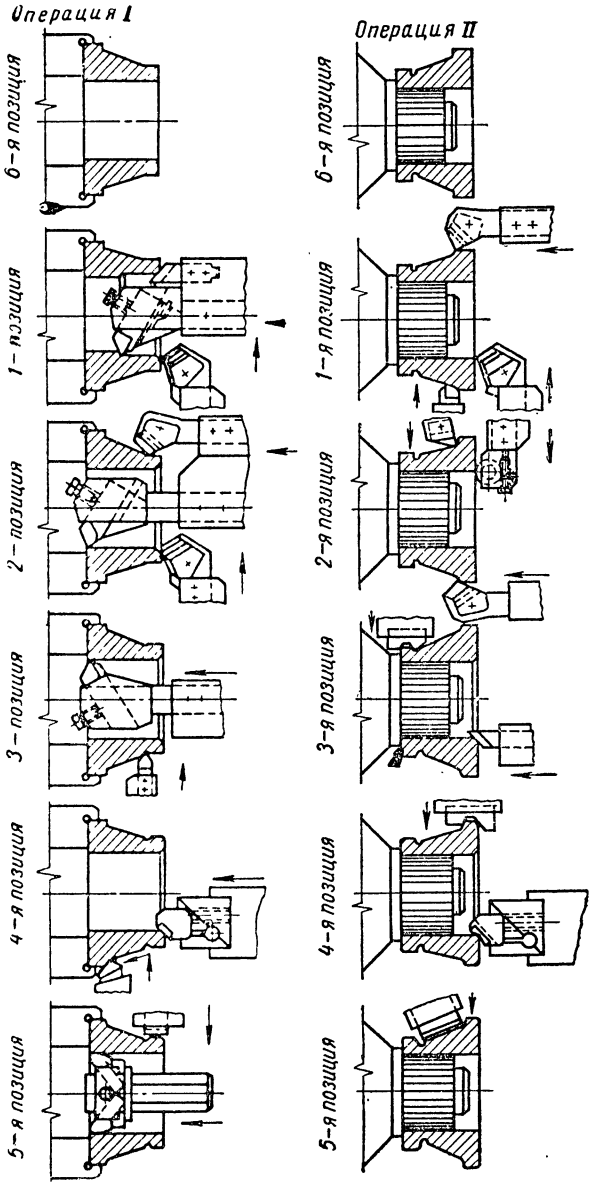
Фиг. 6. План наладки шестишпиндельного автомата на последовательную обработку двух наружных колец шарикоподшипников из холоднокатаной трубы.



Фиг. 7. План наладки четырехшпиндельного автомата на одновременную обработку двух наружных колец шарикоподшипников из трубы.



Фиг. 8. План наладки шестишпиндельного с двойной индексацией автомата на обработку двух внутренних колец шарикоподшипников из холоднокатаной трубы.



Фиг. 9. План наладки шестишпиндельных патронных автоматов на обработку внутреннего кольца конического роликоподшипника из штучной заготовки: операция *I*, операция *II*.

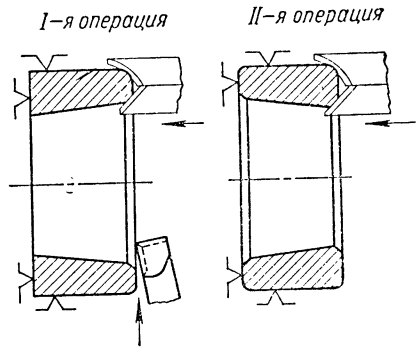
на позициях 1 и 6 — отрезка колец и подача трубы. Кольца диаметром 90—180 *мм* обрабатывают из горячекатаных обточенных труб посредством многоместной резки заготовок на одношпиндельных труборезных автоматах с последующей их обточкой на многошпиндельных патронных автоматах или доделочных станках в две операции.

Кольца размером до 250 *мм* из штучных заготовок обрабатывают на многошпиндельных патронных автоматах. На фиг. 9 приведена наладка двух шестишпиндельных патронных автоматов для обработки внутреннего кольца конического роликоподшипника в две операции. С целью сокращения машинного времени обработки кольца черновая расточка отверстия на операции *I* производится в два перехода на позициях *1* и *2*. Получистовая расточка отверстия выполняется на позиции *3* напроход резцом, имеющим увеличенную независимую подачу и обеспечивающим стабильный припуск под окончательную расточку. Окончательная расточка отверстия производится расточной пластиной, которая является мерным калибрующим инструментом и свободно устанавливается по предварительно обработанному отверстию.

На операции *II* с целью упрощения изготовления твердосплавного фасонного резца и уменьшения вибраций обточка наружного профиля разделена и производится с поперечных суппортов в трех позициях: калибровка малого борта на позиции *3*, большого борта на позиции *4* и дорожки качения на позиции *5*. Стабильная координация взаимного расположения указанных элементов фасонного профиля кольца достигается применением бесподналадочных режущих инструментов и державок инструментов с настроенными установочными базами.

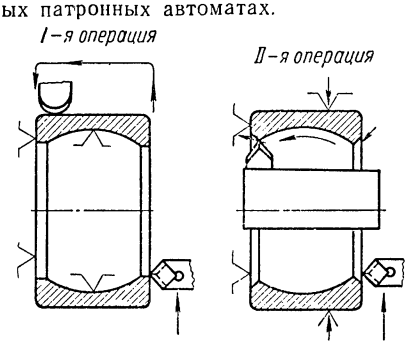
Обработка наружных колец конических роликоподшипников из холодноштампованных заготовок диаметром до 100 *мм* производится в две операции (фиг. 10). На операции *I* обтачиваются узкий торец и наружная и внутренняя фаски, на операции *II* — наружная и внутренняя фаски. Остальные поверхности колец штампуются с припуском под шлифовку.

Кольца диаметром до 500 *мм* из штучных заготовок обрабатывают на одношпиндельных многорезцовых станках (фиг. 11), а диаметром свыше 500 *мм* — на токарных и карусельных станках в две — шесть операций.



Фиг. 10. План наладки двух одношпиндельных патронных автоматов на обработку наружного кольца конического роликоподшипника из штучной холодноштампованной заготовки стали 18ХГТ; операция *I*; операция *II*.

Кольца роликовых игольчатых (карданных) подшипников диаметром до 40 *мм* обрабатывают из холодноштампованных заготовок на многошпиндельных патронных автоматах.

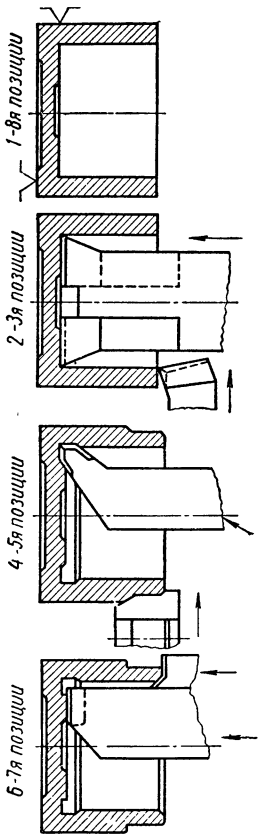


Фиг. 11. План наладки одношпиндельных гидрокопировальных станков на обработку наружного кольца сферического роликоподшипника из раскатанной заготовки: операция *I*; операция *II*.

На фиг. 12 приведена наладка восьмишпиндельного патронного автомата с двойной индексацией на обработку одновременно двух колец карданного подшипника из холодноштампованной заготовки.

Заготовки колец, полученные методом выдавливания, выполнены по наружной поверхности с размерами под шлифовку. На позициях *2* и *3* зенкером производится предварительная подрезка донышка отверстия и узкого торца

кольца, на позициях *4* и *5* — выточка галтели у донышка кольца и обточка на-



Фиг. 12. План наладки 8-шпиндельного патронного автомата с двойной индексацией на одновременную обработку двух колец карданных подшипников из штампованной заготовки.

ружного замка, на позициях *6* и *7* — окончательная подрезка донышка и торца и на позициях *1* и *8* — загрузка и выгрузка колец.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА НАЛАДКИ СТАНКОВ-АВТОМАТОВ

Рабочий путь суппорта определяется по наибольшей величине рабочего пути режущего инструмента, установленного на данном суппорте.

Рабочий путь для каждого инструмента определяется суммой максимальной длины обрабатываемой поверхности заготовки и величиной подвода и перебега инструмента.

Число оборотов шпинделя для одношпиндельных, а также и многошпиндельных станков обычно является одинаковым для всех переходов. Из полученных значений чисел оборотов для каждого из переходов выбирается наименьшее число оборотов, соответствующее лимитирующему по скорости резания инструменту.

В зависимости от конструкции станка по найденному значению чисел оборотов и паспорту станка определяют положение рукояток или сменные шестерни, обеспечивающие ближайшие к расчетным числа оборотов.

При применении инструментальных шпинделей с независимым вращением действительная скорость резания определяется из зависимости

$$v = \frac{\pi D}{1000} (n \pm n_u) \text{ м/мин},$$

где n_u — число оборотов независимого инструментального шпинделя.

Зная подачу для каждого инструмента, определяют лимитирующий по времени переход по формуле

$$T = \frac{L}{ns} \text{ мин}.$$

Наладку подачи и соответственно машинного времени станка производят по лимитирующему переходу. По паспорту станка определяют необходимое положение рукояток или сменные шестерни.

Для станков, у которых привод подачи осуществляется от сменных кулачков (кривых) для наладки станка, число оборотов распределительного вала станка определяется по следующей зависимости:

$$n_{р.в} = \frac{s n \alpha^\circ}{L \cdot 360^\circ} \text{ об/мин}$$

где α° — рабочий угол обхвата кулачка (кривой) в градусах.

Машинное время при автоматическом цикле обработки определяется зависимостью

$$T_м = T_р + T_х \text{ мин.},$$

ОПЕРАЦИОННАЯ КАРТА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

№ подшипника		Деталь	Станок		Архивный № карты
ГОСТ	Другие обозначения		Наименование	Модель	

План обработки (эскизы)

Эскиз заготовки

Эскиз детали

№ операции, чертежа	№ нормали методов обработки	Материал: Тип заготовки	Материал: Марка стали	Материал: Твердость по Бринелю	Вес в кГ на одну деталь: Черновой	Вес в кГ на одну деталь: Чистовой	Количество одновременно обрабатываемых деталей	Операция: Следующая операция	Операция: Всего операций	Лист: Следующий лист	Лист: Всего листов

Приспособление для зажима детали: Наименование	Приспособление для зажима детали: Чертеж	Сменные кривые: Положение	Сменные кривые: Наименование	Сменные кривые: Обозначение	Сменные кривые: Подъем кривой в мм	Сменные кривые: Рабочий угол в градусах	Сменные кривые: № чертежа	Сменные шестерни скоростей	Изменения: Дата	Изменения: № карты изменения	Изменения: Подпись
								Шестерни подач			
								Положение рычага коробки подач			
Спецификация мерительного инструмента								Число оборотов распределительного вала			

Время обработки одной детали в мин.

Машинное	Вспомогательное	Прибавочное	Штучное	Норма выработки в смену	Разряд рабочего

Положение	Переход №	Наименование переходов	Вспомогательный инструмент: № по пор.	Вспомогательный инструмент: Наименование	Вспомогательный инструмент: № чертежа	Режущий инструмент: Наименование	Режущий инструмент: № чертежа	Режим обработки: Глубина резания в мм	Режим обработки: Число оборотов в минуту	Режим обработки: Скорость резания в м/мин	Режим обработки: Подача в мм/об	Путь резца в мм: Рабочий путь	Путь резца в мм: Подход	Путь резца в мм: Выход	Путь резца в мм: Общий путь	Время на переход в мин.

где $T_р$ — время рабочего хода в мин.; $T_х$ — время холостого хода в мин.

$$T_р = \frac{1}{n_{р.в}} \cdot \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} \text{ мин.};$$

$$T_х = \frac{1}{n_{р.в}} \cdot \frac{360^\circ - \alpha^\circ}{360^\circ} = \frac{1}{n_{р.в}} \times \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{360^\circ}\right) \text{ мин.}$$

Здесь α° — общий рабочий угол обхвата кулачка (кривой), равный сумме углов обхвата на участке кулачка рабочего хода и угла зачистки $\alpha_з$; $n_{рв}$ — число оборотов распределительного вала при холостом ходе, определяемое по паспорту станка.

Для станков, имеющих постоянный угол охвата кулачков (кривой) рабочего хода, время холостого хода также постоянно.

Результаты проектирования технологического процесса оформляются в соответствующих технологических документах. К технологической документации относятся: а) операционный чертеж детали; б) нормаль методов токарной обработки; в) операционная карта токарной обработки.

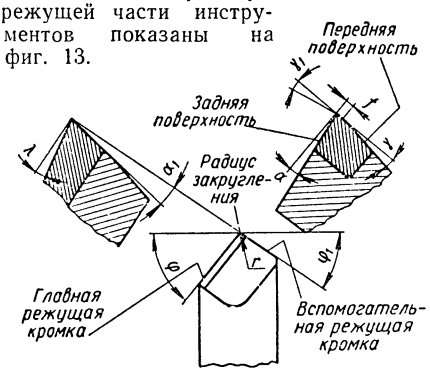
Основным документом при выполнении технологической операции является операционная карта токарной обработки, которая содержит данные о последовательности всех переходов, настройке оборудования, приспособлениях и инструментах, о режиме резания, норме времени и др. (см. стр. 519).

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Для обработки колец на токарных автоматах, полуавтоматах и универсальных станках применяют в основном стандартные конструкции режущих инструментов: резцы, сверла, зенкера, развертки [4].

Геометрические параметры режущей части, основные размеры и технические условия на режущие инструменты регламентированы ГОСТ.

Основные параметры режущей части инструментов показаны на фиг. 13.



Фиг. 13. Геометрические параметры режущей части инструмента: α — задний угол; α_1 — вспомогательный задний угол; γ — передний угол; γ_1 — передний угол на фаске; φ — главный угол в плане; φ_1 — вспомогательный угол в плане; λ — угол наклона главной режущей кромки; r — радиус сопряжения режущих граней; f — фаска на передней грани.

Рекомендуемые величины углов резцов для обработки стали ШХ15 приведены в табл. 11.

Выбор углов в плане зависит от ряда технологических факторов: плана наладки, конструкции зажимных приспособлений, жесткости технологической системы. С уменьшением главного угла в плане стойкость инструмента увеличивается, однако одновременно увеличивается радиальная составляющая силы резания P_y. При уменьшении φ_1 увеличивается нагрузка на вспомогательную

11. Рекомендуемые углы резцов для обработки стали ШХ15

Резцы	Геометрические параметры режущей части							
	Углы в град.							
	φ	φ_1	α	α_1	γ	γ_1	λ	r в мм
Твердосплавные	60—75	10—15	6—8	8—12	8—15	—5—0	0—5	Черновое точение 1—2
Быстрорежущие	60—75	15	8—10	8—12	10—20	0	0	Чистовое точение до 5

12. Геометрия и размеры стружколомающих порожков, лунок и фасок на резцах

Эскиз	Геометрические параметры											
	γ°	γ_1°	λ°	f	b	r*	R	l	m	n	t	h
Резец с порожком	6—20°	—5°	10°	0,2—0,3	1,5—4	0,75—1,5	—	—	—	—	—	0,6—0,9
Резец* с лункой	10°	—	—	—	—	—	1—2,5	6—8	1—1,9	0,1—0,2	0,2—0,4	0,1—0,2
Резец с отрицательной фаской	10°	—5°	—	3—4	—	—	—	—	—	—	—	—
Резец с накладным стружколомателем	—	—	—	—	—	—	—	Регулируется в зависимости от условий резания				

* Главная режущая кромка и вершина резца скругляется абразивным кругом 180—300, шаржированным карбидом бора.

режущую кромку. При $\varphi_1 = 0$ горизонтальная вспомогательная режущая грань выполняет функцию главной режущей кромки. Горизонтальная режущая кромка обычно имеет длину, равную 2—3 подачам. Удлинение периметра резания несколько увеличивает стойкость таких резцов. Однако применение резцов с горизонтальной режущей кромкой, вследствие увеличения радиальной составляющей силы резания рекомендуется при высокой жесткости технологической системы.

Радиус сопряжения главной и вспомогательной режущей грани является основным параметром, определяющим чистоту обработанной поверхности.

Чем больше радиус закругления, тем чище обработанная поверхность.

Для ломания или завивания стружки применяют резцы с отрицательными передними углами на фаске, с порожками или лунками на передней грани, а также резцы с накладными стружколомателями. Геометрия и размеры стружколомающих порожков, лунок и фасок при глубине резания от 2 до 5 *мм* и подачах от 0 2 до 0,7 *мм/об* приведены в табл. 12.

Общие недостатки порожков или лунок — в необходимости выдерживать жесткие допуски на их размеры для каждого конкретного случая работы резца и повышенный расход твердого сплава в связи с уменьшением общего числа допустимых переточек.

Накладные стружколоматели более универсальны, чем порожки и более надежны в работе, однако они усложняют конструкцию резца.

Инструментальные материалы.

Для токарной обработки колец применяют быстрорежущие стали марки Р18 и Р9 и титано-кобальтовые твердые сплавы марок Т5К10, Т14К8 и Т15К6 и вольфрамо-кобальтовые марки ВК8.

Для резцов, работающих в тяжелых условиях, как, например, отрезные и фасонные со сложным профилем, применяются сплавы повышенной прочности типа ТТ7К12 и Т5К12В.

Химический состав и основные свойства быстрорежущих сталей приведены в табл. 13, а твердых сплавов в табл. 14.

Область применения инструментальных материалов при токарной обработке колец в зависимости от вида оборудования и технологических переходов приведена в табл. 15.

13. Химический состав и основные свойства быстрорежущих сталей

Марка стали	Химический состав в %						Основные свойства			
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Твердость в состоянии поставки (после отжига) *HB*	Твердость после закалки		
								Температура закалки	Закалочная среда	*HRC*
Р-18 (РФ-1)	0,7—0,8	≤0,4	0,4	3,8—4,6	17,5—19,0	1,0—1,4	207—255 (3,8—4,2)	1260—1290	Масло	61—63
Р-9 (ЭИ-262)	0,85—0,95	≤0,45	0,45	4,0—4,6	8,5—10,0	2,0—2,6	207—255	1210—1240	»	62—64

14. Химический состав и механические свойства твердых сплавов

Марка твердого сплава	Химический состав в %				Механические свойства				
	WC	Co	TaC	TiC	Удельный вес в *Г/см³*	Твердость *HRA*	Предел прочности на изгиб в *кГ/мм²*	Модуль упругости в *кГ/мм²*	Красностойкость, в °С
Т5К10	85	9	—	6	12,8	88	115	59 000	1100
Т14К8	78	8	—	14	11,6	89,5	115	54 000	1200
Т15К6	79	6	—	15	11,3	90	110	52 000	1200
Т5К12В	83	12	—	5	12,8	88	150	—	—
ТТ7К12	81	12	3	4	13,2	88	152	—	—
ВК8	92	8	—	—	14,6	87,5	130	—	950

15. Инструментальные материалы, применяемые при обработке колец

Группа оборудования	Назначение	Наименование режущего инструмента	Марка инструментального материала
Одношпиндельные и многошпиндельные автоматы и труборезные автоматы	Обработка колец из прутка и трубы	Резцы всех видов, кроме отрезных и фасонных	Т5К10, Т14К8
		Резцы фасонные и отрезные	Р-18, ТТ7К12, Т5К10, ВК8
		Сверла спиральные	Р18, Р9
		Зенкеры	Т5К10
		Развертки	Т5К10, Р9 и Р18
Многошпиндельные полуавтоматы	Черновая обработка с небольшой нагрузкой	Резцы всех видов, кроме фасонных	Т14К8, Т5К10
		Резцы фасонные	Т5К10, ВК8, ТТ7К12, Р18
		Зенкеры	Т5К10
Одношпиндельные полуавтоматы	Черновая обработка с тяжелыми режимами или переменной нагрузкой	Резцы всех видов	Т14К8, Т5К10
Токарно-операционные станки	Получистовая и чистовая обработка	Плоские проходные, расточные, подрезные и фасонные резцы	Т15К6, Т5К10
		Дисковые фасонные резцы	Р18, Т5К10, ТТ7К12

Заточка резцов

Заточку твердосплавных режущих инструментов производят карборундовыми шлифовальными кругами, а быстрорежущей стали — электрокорундовыми кругами.

Режимы заточки резцов приведены в табл. 16.

16. Режимы заточки резцов

Инструментальный материал и операция	Характеристика шлифовального круга			Режим заточки	
	Наименование материала	Зернистость	Связка и твердость	Скорость резания в *м/сек*	Подача в *мм/ход*
Твердые сплавы					
Предварительная и окончательная заточка	Экстра-карборунд (зеленый карбид кремния)	46—80	СМ2, СМ3	10—18	0,03—0,05
Быстрорежущие стали					
Предварительная заточка	Электрокорунд	46—60	СМ1, СМ2	25—35	
Окончательная заточка		170—320	СМ1, СМ2	25—35	

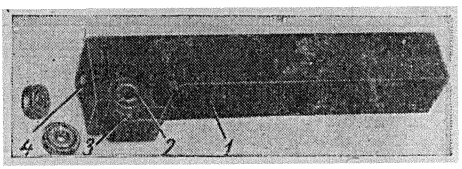
Заточку профильных твердосплавных инструментов рекомендуется производить предварительно электрическим методом, а окончательно — шлифовальным кругом. Переднюю и заднюю грани твердосплавных инструментов доводят обычно на чугунных дисках, шаржированных карбидом бора. Скорость при доводке составляет 1,5—2 *м/сек*. Удельное давление не должно превышать 0,2 *кГ/см*^{2}. С целью увеличения производительности доводку рекомендуется производить не на всей поверхности режущей грани, а лишь на площадках шириной в 2—4 *мм*.

Применяется также окончательная заточка твердосплавных режущих инструментов алмазными шлифовальными кругами. На профилешлифовальных станках з-да им. Ильича, мод. 3П-95НБ или с оптическим экраном мод. 395М со скоростями резания 28—35 *м/сек*. После алмазной заточки режущих граней доводки инструмента не требуется. Шероховатость поверхности режущих граней инструментов после доводки на чугунном диске или шлифовки алмазными кругами должна соответствовать ▽ 8—▽9 классу чистоты.

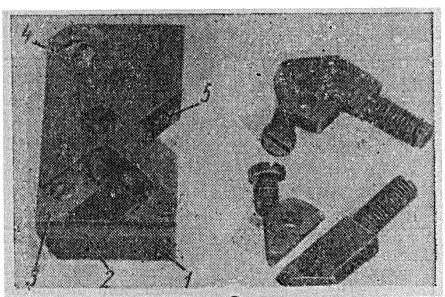
Прогрессивные конструкции инструментов

Основным направлением в совершенствовании конструкции является создание взаимозаменяемых режущих инструментов. Взаимозаменяемость инструмента достигается двумя способами: применением мерных инструментов и применением инструментов с регулируемыми компенсаторами. К мерным инструментам [5], изготовляемым с точностью ±0,01 *мм*, относятся зенкеры, развертки, чашечные и профильные резцы (фиг. 14, *а*). Сборные расточные пластины (фиг. 14, *б*) после сборки шлифуются в размер и также используются как мерный инструмент. Инструменты с регулируемыми компенсаторами размеров изготовляют с широкими допусками на размеры и настраивают на требуемый размер вне станка в индикаторных приспособлениях. Сборные резцы расточные, подрезные и проходные (фиг. 15), имеющие сменную режущую пластинку и накладной стружколом, применяют для черновой обработки.

Для чистовой обработки фасонных поверхностей, применяют цельные призматические резцы (фиг. 16, *а*, *б*).



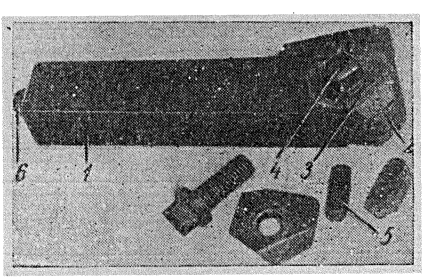
а)



б)

Фиг. 14. Мерные режущие инструменты: *а* — чашечный подрезной резец: *1* — корпус резца; *2* — твердосплавная чашка; *3* — подкладка; *4* — стяжной винт; *б* — твердосплавная сборная расточная пластинка: *1* — корпус; *2* — твердосплавная пластинка; *3* — клин; *4* — стяжной винт; *5* — регулировочный винт.

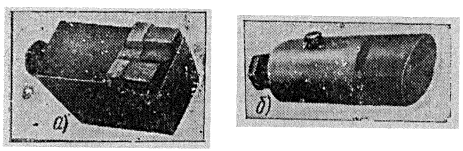
Резцы плоские фасочные, прорезные и сменные режущие вставки расточных,



Фиг. 15. Сборный проходной резец с регулируемыми компенсаторами размеров: *1* — корпус резца; *2* — режущая вставка; *3* — накладной стружколоматель; *4* — стяжной винт; *5* — регулировочный винт вставки; *6* — регулировочный винт длины резца.

проходных и подрезных резцов затачивают и доводят в основном по задней

грани. Резцы призматические, фасонные и стержневые желобные резцы затачивают и доводят только по передней грани.

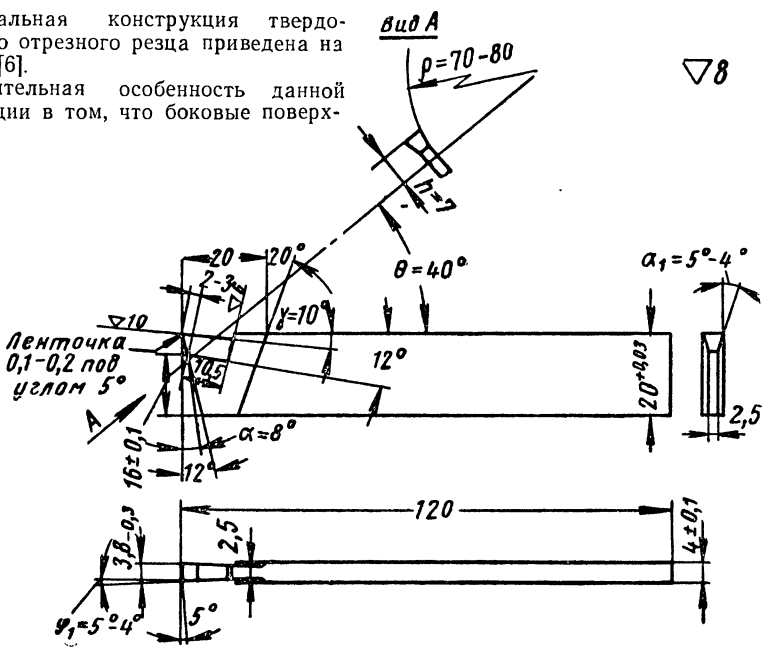


Фиг 16. Цельные призматические взаимозаменяемые резцы с регулируемым компенсатором: *а* — фасонный резец для калибровки борта кольца роликоподшипника; *б* — стержневой желобной резец.

Оптимальная конструкция твердосплавного отрезного резца приведена на фиг. 17 [6].

Отличительная особенность данной конструкции в том, что боковые поверхности режущей части резца представляют часть поверхности кругового цилиндра, ось которого наклонена к подошве резца под углом θ и смещена от вершины резца на величину h.

Это обеспечивает получение оптимальных значений заднего вспомогательного α_1 и вспомогательного в плане φ_1 углов резца без снижения жесткости тела резца.



Фиг. 17. Твердосплавный отрезной резец с боковыми цилиндрическими поверхностями.

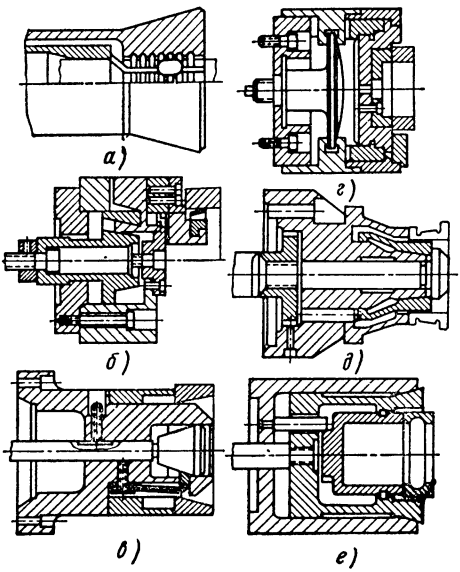
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА СТАНКОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ

Зажимные патроны

Основные требования к зажимным устройствам — надежность закрепления заготовок и точность их центрирования. Кроме того, зажимные устройства должны быть быстродействующими, надежными в эксплуатации и легко переналаживаемыми на обработку других типоразмеров деталей. Типовые зажимные устройства, применяемые на токарных прутковых и патронных автоматах и полуавтоматах, представлены на фиг. 18 [7].

При закреплении по необработанной поверхности зажимные элементы кулач-

ка патрона выполняются в виде клина с контактной площадкой 0,5—1,0 *мм* и углом 60—90°. При зажиме по обрабо-



Фиг. 18. Типовые зажимные устройства: *а* — цанги зажимная и подающая прутковотрубных автоматов; *б* — трехкулачковый клиновой самоцентрирующий патрон с накладными кулачками для зажима штучных заготовок; *в* — патрон с самоустанавливающимися сухарями для зажима по необработанной внутренней конической поверхности; *г* — патрон с самоустанавливающимися сухарями для зажима по необработанной наружной поверхности; *д* — цанговый патрон для зажима по внутренней обработанной поверхности штучных заготовок; *е* — цанговый патрон для зажима по наружной обработанной поверхности штучных заготовок.

танным поверхностям для увеличения удельных давлений контактные поверхности цанг выполняют рифлеными.

При изготовлении цанг угол конуса следует выполнять на полградуса менее угла опорного конуса.

Точность центрирования зажимного устройства определяется величиной биения его зажимных элементов и величиной погрешности формы заготовки (ее некруглостью).

Средние величины биения зажимных элементов патронов различных конструкций приведены в табл. 17.

17. Средние величины биения зажимных элементов патронов

Наименование патрона	Величина биения зажимных элементов в *мм*
Цанговые патроны всех типов и сухариковые патроны для зажима по обработанной поверхности	0,05
Патроны с тремя самоустанавливающимися сухарями для зажима по необработанной поверхности . . .	0,2
Трехкулачковые патроны со сменными кулачками . . .	0,5

Сила на зажимном элементе для клиновых и цанговых патронов определяется зависимостью

$$P = \frac{Qi\eta_n}{z}\ кГ,$$

где Q — сила тяги привода патрона в $кГ$; i — передаточное отношение механизма патрона; η_n — к.п.д. патрона; z — число зажимных элементов патрона.

Сила тяги пневматического или гидравлического цилиндра определяется зависимостью

$$Q = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} p\eta_ц\ кГ;$$

здесь D — диаметр поршня цилиндра в *см*; d — диаметр штока поршня в *см*; p — давление воздуха или масла в цилиндре в $кГ/см^2$; $\eta_ц$ — к. п. д. цилиндра (для цилиндров диаметром 150 *мм* $\eta_ц = 0{,}9$ и для цилиндров диаметром 300 *мм* $\eta_ц = 0{,}8$).

Средние значения к.п.д. патронов η_n приведены в табл. 18.

18. К. п. д. зажимных патронов

Тип патронов	η_n
Трехкулачковые клиновые патроны	0,4
Патроны с самоустанавливающимися сухарями	0,55
Цанговые патроны для наружного зажима	0,6
Цанговые патроны для внутреннего зажима	0,6

Действие сил от зажимных элементов вызывает упругую деформацию колец.

Величина деформации тонкостенных колец при приложении равномерно расположенных в нескольких точках по

окружности радиальных сил приближенно определяется зависимостью

$$\delta = C\frac{PR^3}{EJ} \text{ см},$$

где P — сосредоточенная сила на зажимном элементе в *кГ*; R — радиус охватываемой зажимом поверхности в *см*; E — модуль упругости (для стали ШХ15 $E = 2{,}1 \cdot 10^6$ *кГ/см*); J — момент инерции сечения кольца в *см*^{4}; C — коэффициент, зависящий от числа приложенных сил.

Значения коэффициента C приведены в табл. 19.

19. Значения коэффициента *C*

Число приложенных сил	C
2	0,149
3	0,016
6	0,0017

Сила, прилагаемая на зажимном элементе, не должна вызывать деформацию колец, превышающую допустимую по техническим условиям величину. При зажиме тонкостенных колец необходимое уменьшение силы на зажимном элементе достигается снижением давления воздуха в силовой сети, осуществляемым с помощью редукционного клапана.

Если же по условиям механической обработки необходимо сохранить величину момента трения зажима и уменьшить величину силы на зажимном элементе нельзя, то нужно увеличивать число зажимных элементов.

Вспомогательный инструмент

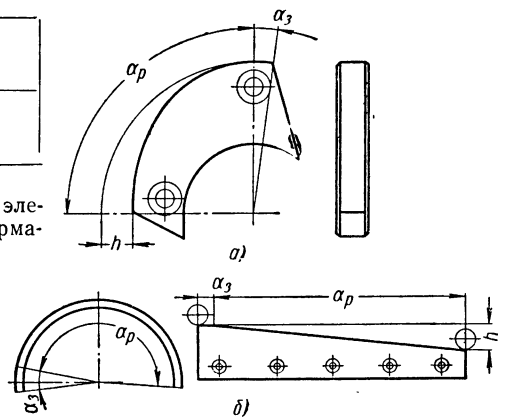
К вспомогательному инструменту, применяемому при токарной обработке колец, относятся резцедержавки, расточные оправки и кронштейны для них, рабочие кулачки (кривые) токарных автоматов и полуавтоматов, а также специальные приспособления для обработки, сфер, конусов, галтелей.

Сменные рабочие кулачки (кривые) применяют дискового или барабанного типов (фиг. 19). Участок $\alpha_з$ на кривой без подъема предусматривают в конце рабочего хода суппорта с целью зачистки детали.

Угол рабочей подачи инструмента подсчитывают по циклограмме работы станка (фиг. 20). Рабочую поверхность кривых дискового типа выполняют в виде архимедовой спирали, а кривых барабанного типа — в виде винтовой линии. Подъем спирали или винтовой линии на угол 360° определяется зависимостью

$$H_{360} = \frac{360^\circ}{\alpha_p^\circ} h \text{ мм},$$

где α_p° — рабочий угол охвата; h — подъем кулачка (кривой) в *мм*.



Фиг. 19. Сменные рабочие кулачки (кривые); *а* — дисковый кулачок; *б* — барабанный кулачок (кривая).

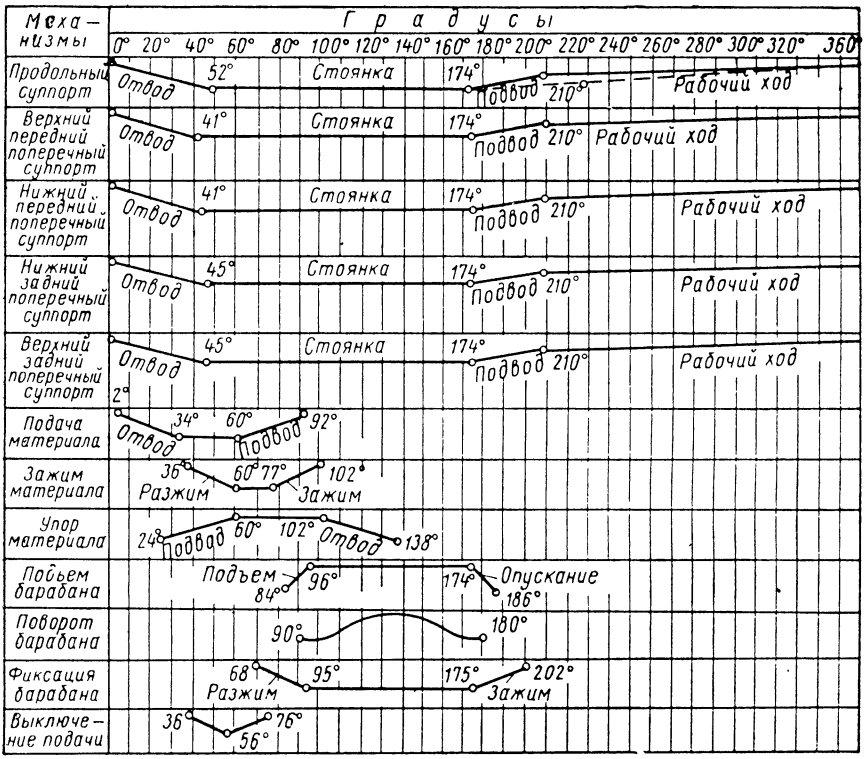
Подъем кулачка принимают в зависимости от величины рабочего хода инструмента и с учетом передаточного отношения рычагов, определяемого по паспорту станка. Для кулачков (кривых) с двумя подъемами (фиг. 21) рабочий угол охвата для каждого из участков кривой определяется в зависимости от заданных подач s_1 и s_2 и подсчитывается на каждом участке по формулам:

$$\alpha_{p_1} = \frac{h_1 s_2}{h_1 s_2 - h_2 s_1}\alpha_p$$

и

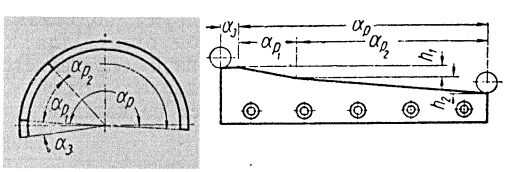
$$\alpha_{p_{11}} = \alpha_p - \alpha_{p_1}.$$

В основном на токарных автоматах и полуавтоматах применяют нормальные державки и оправки, поставляемые станкостроительными заводами комплектно со станком.



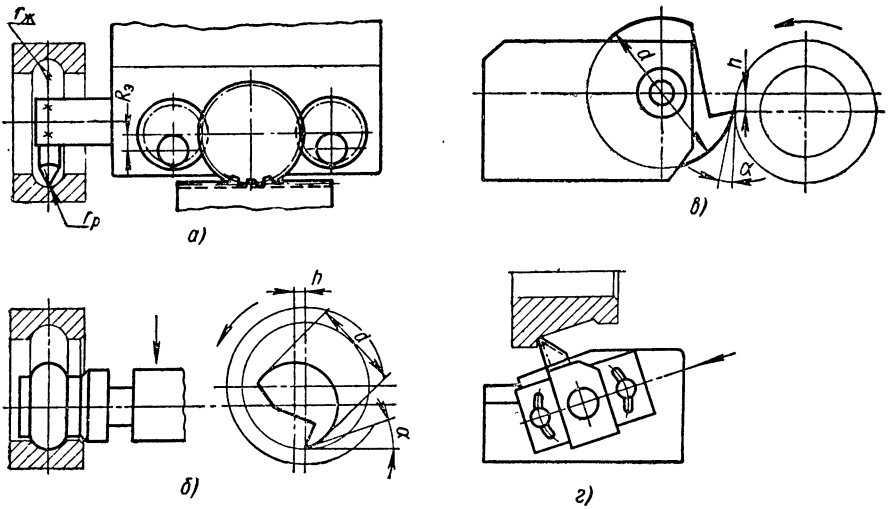
Фиг. 20. Циклограмма работы прутково-трубного автомата.

Некоторые типы специальных приспособлений, применяемых при токарной обработке колец, приведены на фиг. 22.



Фиг. 21. Сменная кривая с двумя подъемами.

Основными требованиями, предъявляемыми к вспомогательным инструментам, является их жесткость, удобство обслуживания, простота и надежность в эксплуатации. Обычно резцедержавки изготовляют из инструментальной стали, термически обработанной до твердости *HRC* 45—50. Базовые поверхности и поверхности для установки инструментов шлифуют для увеличения контактной жесткости.



Фиг. 22. Некоторые типы специальных приспособлений для обработки колец подшипников: *а* — эксцентриковое приспособление для обточки желобов наружных колец шарикоподшипников $R_э = r_{ж} - r_р$; *б* — державка дисковых профильных резцов для обработки внутреннего профиля колец врезанием; *в* — державка дисковых профильных резцов для обработки наружного профиля врезанием. Смещение оси резца от оси шпинделя: $h = \frac{d}{2} \sin \alpha$; где α — задний угол резца; *г* — приспособление для продольного точения наружной конической поверхности.

МЕТОДЫ РАЗМЕРНОЙ НАЛАДКИ СТАНКОВ

Для размерной наладки станка необходимо установить настроечный размер, который определяется с учетом как случайных, так и систематических переменных погрешностей. В процессе пробной обработки деталей проводится дополнительная регулировка станка на основе фактических замеров обработанных деталей. При наличии лишь случайных погрешностей настроечный размер должен совпадать с серединой поля допуска на размер обрабатываемой поверхности. Наличие же систематической погрешности, вызываемой, например, износом режущего инструмента, требует для более целесообразного использования поля допуска δ выбирать настроечный размер близким к минимальному размеру $D_{\min}$ (фиг. 23). Величина смещения от минимального значения определяется зависимостью

$$D_{нр} = D_{\min} + \frac{\Delta_{р.\,н}}{2} \text{ мм},$$

где $D_{н.\,р.}$ — настроечный размер обрабатываемой поверхности; $D_{\min}$ — минимальный размер; $\Delta_{р.\,н.}$ — среднеквадратическая погрешность рассеивания настройки.

Замену резца новым производят при достижении размера обработанной поверхности, равного $D_{\max} - \frac{\Delta_{р.\,н.}}{2}$.

В машиностроении известен ряд методов наладки станков, работающих по автоматическому циклу. К ним относятся наладки:

1) по обработанной детали;

2) универсальным измерительным инструментом (выборочный метод);

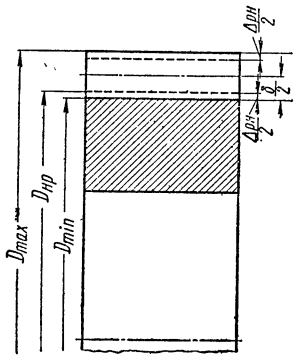
3) по знакам отклонений;

4) по калибрам распределения (метод группирования);

5) бесподналадочная.

Прогрессивный бесподналадочный метод наладки станков основан на приме-

нении режущих инструментов, настраиваемых на размер вне станка. Сущность этого метода состоит в том, что при смене режущих инструментов на станке требуемое расположение их формообразующих кромок инструмента относительно обработанной поверхности достигается установкой инструментов по заранее



Фиг. 23. Поле допуска и настроечный размер на токарную обработку.

настроенным базам державок и инструментов без дополнительной регулировки на станке.

Выверка установочных баз на державках производится лишь при первичной наладке станка на размер по эталонным резцам.

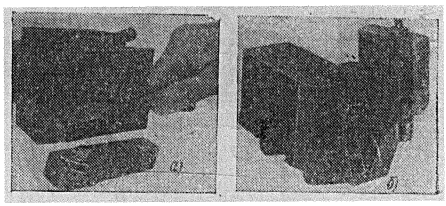
На державках предусматривают компенсаторы положения базовых поверхностей.

Примеры державок с регулируемыми установочными базами приведены на фиг. 24. Настройка установочной базы державки расточного резца в направлении радиуса детали осуществляется с помощью опорных болтов. Настройка установочной базы державки желобного резца по высоте центров деталей производится при помощи верхнего компенсирующего винта в державке.

Первичная наладка станка производится в следующей последовательности.

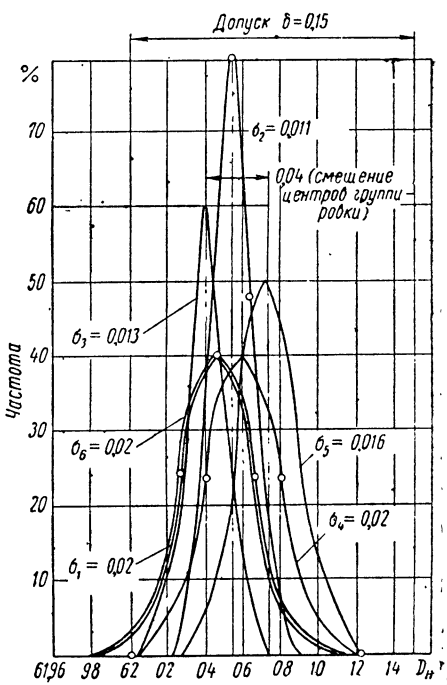
1. Приспособления для зажима, сменные кривые и сменные шестерни скоростей и подач, а также вспомогательный и режущий инструменты на суппортах располагают в соответствии с планом наладки и операционной карты обработки.

2. Исполнительные размеры обработки кольца по переходам устанавливают по эскизу в операционной карте.



Фиг. 24. Державки с регулируемыми установочными базами для резцов: *а* — державка расточного резца с регулируемым размером в радиальном направлении и по длине; *б* — державка желобного резца с регулируемым размером по высоте центров детали.

3. Регулирование положения режущей кромки резца относительно обработан-



Фиг. 25. График рассеивания центров группирования размеров обработанных колец на каждом из шести шпинделей станка 1261П.

ной поверхности при первичной наладке производится за счет:

а) перемещения державки на суппорте вдоль оси;

б) смещения верхней каретки суппорта винтом лимба;

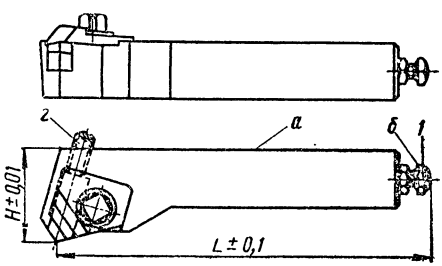
в) регулирования установочных баз в державке;

г) регулирования упоров суппортов.

При этом применяют режущие инструменты, настроенные в приспособлениях вне станка по номинальному размеру чертежа.

Регулирование упоров поперечных суппортов на многошпиндельных станках производят для каждого положения шпинделя раздельно, так чтобы общее рассеивание центров группирования размеров не превышало $^1/_4$ допуска на размер (фиг. 25).

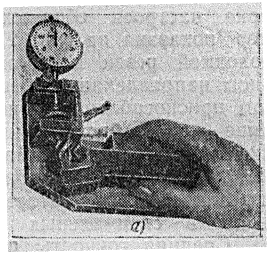
Замену инструмента без подналадки на станке производят при потере размера на обработанном кольце или ухудшении микрогеометрии обработанной поверхности. Настройку инструментов на размер производят вне станка на индикаторных приспособлениях.

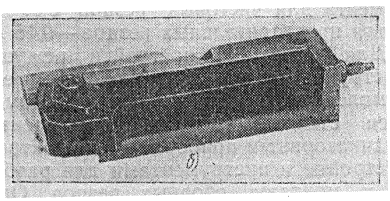


Фиг. 26. Классификация установочных баз и настроечных размеров бесподналадочных резцов: *а* — постоянная установочная база; *б* — регулируемая установочная база; *1* — компенсирующий винт по длине; *2* — регулировочный винт в радиальном направлении; $H^{\pm 0,01}$ — размер настойки в радиальном направлении; $L^{\pm 0,1}$ — размер настойки длины резца.

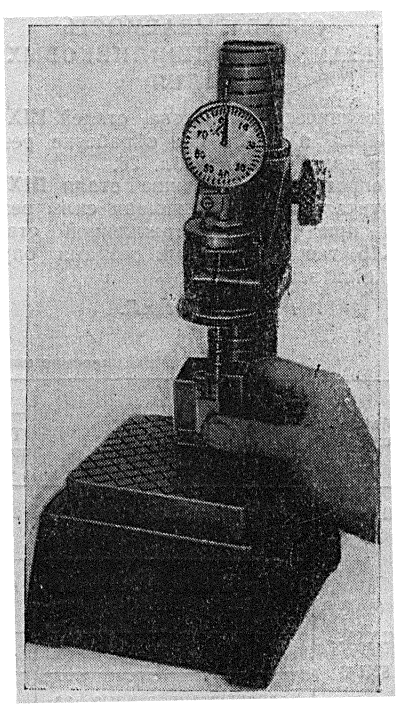
Для всех режущих инструментов, применяемых на станке, подготовляют эталонные экземпляры инструментов. Регулируемые размеры эталонных резцов с помощью компенсирующих винтов налаживают по номинальному размеру чертежа с точностью $\pm$ 0,01 *мм*.

Настройку размеров резцов производят от размерных баз *а* и *б* резцов (фиг. 26).





Фиг. 27. Примеры настройки сборных резцов станка: *а* — настройка проходного резца в рычажном приспособлении; *б* — настройка длины резца.



Фиг. 28. Настройка призматического фасонного резца в индикаторном приспособлении с опорной призмой.

Проверка настроек сборных резцов на размер показана на фиг. 27. Сборный проходной резец настраивается в радиальном направлении в специальном рычажном приспособлении (фиг. 27, *а*), а по длине — по шаблону (фиг. 27, *б*). Настройка фасонных призматических и цельных плоских резцов производится только по длине на индикаторном приспособлении в специальных призмах (фиг. 28). Средняя точность попадания в настроечный размер при смене инструмента для чистовых резцов 0,05 *мм*, а для предварительных резцов —0,15 *мм*.

Для размерной настройки режущих инструментов вне станка рабочее место комплектовщика инструментов оборудуется стеллажами для инструментов, индикаторными приборами для контроля настройки и инструментами для разборки и монтажа сборных резцов. Один комплектовщик 6-го разряда обеспечивает настройку инструментов для 20—24 многошпиндельных станков.

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ ПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ

Механические свойства сталей ШХ15, ШХ15СГ и 18ХГТ при обработке резанием приведены в табл. 20.

Сопротивление резанию стали ШХ15. Вертикальная составляющая силы резания при точении отожженной стали ШХ15 твердосплавными резцами определяется зависимостью

$$P_z = 220s^{3/4}t \ кГ.$$

Радиальная составляющая

$$P_y = 75s^{2/3}t^{2/3} \ кГ.$$

Эти зависимости получены при скоростях резания 80—100 *м/мин* без охлаждения при работе незатупившимися резцами и со следующей геометрией: $\gamma = 10°$; $\alpha = 1{,}0$, $\gamma_1 = -5°$, $r = 1{,}0$, $\varphi = 70°$.

Данные зависимости можно применять также для резцов с дополнительной режущей кромкой $\varphi_1 = 0$.

При точении профильными резцами

$$P_z = 200s^{3/4}t \ кГ;$$

$$P_y = 100s^{2/3}t \ кГ.$$

При износе резцов по задней грани до 1—1,2 *мм* вертикальная составляющая P_z возрастет на 20—40% и радиальная составляющая P_y на 80—100%.

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей в среднем снижает радиальную составляющую силы резания на 20%.

Режимы резания. Режимы резания, при которых достигается наибольшая производительность станка и наименьшая стоимость обработки, для конкретных условий производства являются оптимальными режимами.

Износ режущих инструментов происходит вследствие трения сходящей стружки о переднюю, а поверхности резания о заднюю грани инструмента.

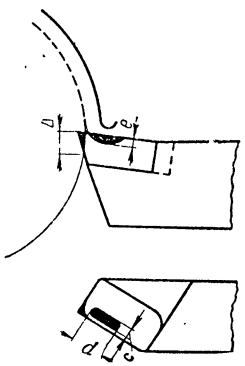
На передней грани инструмента в процессе износа образуется лунка, отстоящая на некотором расстоянии от режущей кромки, а на задней грани — пло-

20. Механические свойства подшипниковых сталей

Марка стали	Вид заготовки	Механические свойства			
		Твердость по Бринелю *НВ*	Диаметр отпечатка 10-миллиметрового шарика в *мм*	Временное сопротивление в *кГ/мм²*	Относительное удлинение в %
ШХ15	Холоднокатаные прутки и трубы	229—269*	4,0—3,7	70	Не менее 15
ШХ15СГ	Горячекатаные прутки, трубы, кузнечные заготовки	170—207	4,6—4,2	70	Не менее 15
18ХГТ	Кузнечные заготовки	187—217	4,4—4,1	70	Не менее 15
	Холодноштампованные заготовки	180—197*	4,5—4,3	45	Не менее 18

* Повышенная твердость холоднокатаного металла является следствием наклепа.

щадка износа, параллельная поверхности резания (фиг. 29). Полное разрушение режущей кромки резца наступает тогда, когда лунка на передней грани соединится с площадкой износа на задней грани.



Фиг. 29. Износ твердосплавных резцов.

Закономерность износа твердосплавных инструментов во времени иллюстрируется кривыми износа (фиг. 30).

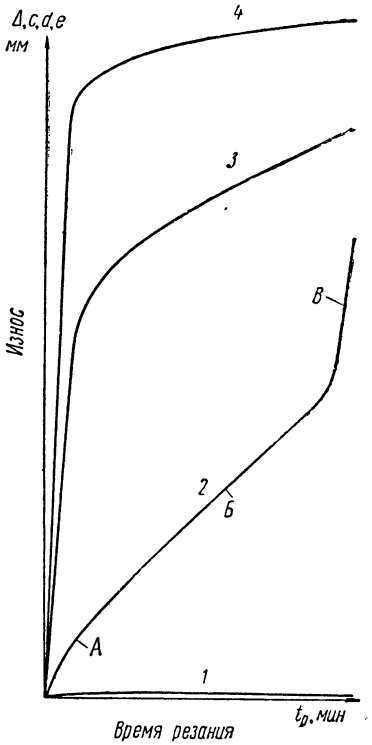
В зоне приработки *А* износ по задней грани протекает быстро, затем наступает период пропорционального износа *Б* и наконец период разрушения *В*, при котором процесс износа резца катастрофически возрастает. Процесс образования лунки в начальном периоде происходит интенсивно, а затем медленно. Превалирующим в большинстве случаев является износ по задней грани, поэтому величина площадки износа по задней грани и служит критерием износа инструмента. Износ инструментов свыше рекомендуемых величин приводит к поломкам инструмента и браку продукции.

Критерий затупления основных видов режущих инструментов, применяемых при токарной обработке колец на автоматах и полуавтоматах, приведен в табл. 21 [8].

21. Допустимый износ режущих инструментов по задней грани в *мм*

Наименование инструментов	Для быстрорежущей стали	Для твердого сплава
Резцы проходные, расточные и подрезные	1,0—1,2	1,2—1,5
Резцы прорезные и отрезные	0,5—0,8	0,5—0,8
Резцы профильные и фасочные	0,4—0,5	0,4—0,5
Сверла	0,8—1,0	—
Зенкера	0,8—1,0	0,8—1,0
Развертки	0,6—0,8	0,6—0,8
Расточные пластины	0,6—0,8	0,6—0,8

Стойкость режущих инструментов *Т* характеризуется суммарной продолжительностью непосредственного резания до предельно-допускаемого износа резца.



Фиг. 30. График закономерности износа во времени: *1* — глубина лунки *е* на передней поверхности резца; *2* — износ Δ по задней поверхности резца; *3* — ширина лунки *с*; *4*—длина лунки *d*.

Оптимальный период стойкости инструментов зависит от числа одновременно работающих на станке инструментов, степени сложности и стойкости инструментов, а также от квалификации наладчика, количества обслуживаемых станков одним рабочим и организации инструментального хозяйства цеха.

Рекомендуемые периоды стойкости в минутах календарного времени работы станка для различных видов инструментов, металлорежущего оборудования, при существующих условиях производства автоматно-токарных цехов подшипниковых заводов приведены в табл. 22.

22. Периоды стойкости режущих инструментов в мин. календарного времени работы станка

Наименование инструмента	Вид оборудования						
	Токарно-револьверные автоматы	Многошпиндельные прутково-трубные автоматы	Многошпиндельные патронные автоматы	Многорезцовые автоматы одношпиндельные	Трубоотрезные автоматы	Доделочные автоматы	Токарные и карусельные станки
Резцы проходные, расточные и подрезные . . .	90—120	120—180	120—180	90—120	—	—	60—90
Резцы прорезные и отрезные . . .	90—120	120—180	120—180	90—120	120—180	—	90—120
Резцы профильные и фасочные	300—360	360—420	360—420	—	—	120—180	90—120
Сверла, зенкера .	240—300	240—300	240—300	—	—	—	—
Развертки, расточные пластины	360—420	420—480	360—420	—	—	—	—

Меньшие значения периодов стойкости соответствуют простой наладке станка.

Наибольшее влияние на стойкость режущих инструментов оказывает скорость резания. Зависимость между периодом стойкости по времени резания и скоростью резания выражается следующей формулой:

$$v_1 = v_0 \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^m \text{ м/мин},$$

где v_0 — скорость резания, соответствующая периоду стойкости T_0; v_1 — скорость резания, соответствующая периоду стойкости T_1; m — показатель относительной стойкости.

Значения m для твердосплавных и быстрорежущих инструментов при обработке стали ШХ15 с охлаждением приведены в табл. 23.

23. Значения показателя относительной стойкости m

Материал инструмента	Виды резцов	m
Быстрорежущая сталь Р18 и Р9	Проходные Расточные Подрезные	$^1/_8$
	Отрезные Прорезные Профильные	$^1/_5$—$^1/_4$
Твердые сплавы	Проходные Расточные Подрезные	$^1/_4$—$^1/_3$
	Отрезные Профильные Прорезные	$^1/_5$—$^1/_4$

Скорость резания при продольном точении колец из стали ШХ15 твердосплавными резцами с охлаждением определяется из зависимости

$$v = \frac{C_v}{T^{1/3} S^{1/3} t^{1/5}} \text{ м/мин}.$$

Здесь T — период стойкости в мин.; C_v — коэффициент, зависящий от условий резания (материала инструмента, геометрии режущей части резца, условий охлаждения).

Величина коэффициента C_v для различных условий резания при обработке стали ШХ15 твердосплавными резцами и работе с охлаждением приведена в табл. 24.

24. Величина коэффициента C_v

Условия обработки	C_v	
	Т14К8	Т5К10
Работа по корке . .	390	250
Работа без корки . .	480	310

Приближенная зависимость скорости резания от стойкости и подачи при обработке стали ШХ15 с охлаждением профильными быстрорежущими резцами выражается уравнением [9]

$$v = \frac{300}{\sqrt{Ts}} \text{ м/мин}.$$

Оптимальная величина скорости резания зависит от свойств обрабатываемой стали, режущих свойств инструментальных материалов, величины подачи, глубины резания, качества смазывающе-охлаждающей жидкости, геометрии режу-

25. Скорости резания при токарной обработке колец подшипников

Группа оборудования	Диаметр обрабатываемой поверхности в *мм*	Скорость резания в *м/мин*	
		Лимитирующий инструмент из быстрорежущей стали	Лимитирующий инструмент твердосплавный
Токарно-револьверные автоматы	6—12	25—35	—
Многошпиндельные прутково-трубные автоматы	25—120	25—30	80—100
Многошпиндельные патронные автоматы и полуавтоматы	40—200	25—30	70—100
Многорезцовые патронные полуавтоматы	200—500	—	50—130
Труборезные автоматы	60—180	24—28	80—90
Токарно-доделочные автоматы	До 250	35—45	80—100
Сферотокарные полуавтоматы	200—1200	—	110—120
Токарные и карусельные станки	500—2000	—	80—120

щей части инструментов, количества одновременно работающих инструментов, а также от выбранного по условиям производства периода стойкости лимитирующих инструментов.

В табл. 25 приведены скорости резания для основных видов оборудования при обработке колец подшипников из стали ШХ15 и ШХ15СГ в зависимости от материала лимитирующих инструментов.

Скорости резания, приведенные в табл. 25, даны для работы на станках, у которых в качестве охлаждающей жидкости применяется водная эмульсия. При применении вместо эмульсии сульфофрезола скорости резания не должны превышать 50 *м/мин*. При обработке колец из малоуглеродистой стали 18ХГТ скорости резания могут быть повышены при прочих равных условиях в 1,4—1,5 раза, а стали 20Х2Н4А — в 1,2—1,3 раза по сравнению со сталью ШХ15. При обработке колец из теплоустойчивых и нержавеющих сталей типа ЭИ-347 и Х18 скорости резания принимать ниже на 20—25%.

Общую глубину резания t при токарной обработке колец определяют по величине максимального припуска на механическую обработку (см. гл. XV). Глубина резания на чистовые проходы при токарной обработке приведена в табл. 26.

Припуски на чистовую обработку крупногабаритных колец (диаметром свыше 250 *мм*) назначают в пределах 1—3 *мм* на сторону.

26. Припуски на чистовые проходы при токарной обработке

Операция	Припуск в *мм*
Развертывание	0,2—0,4
Обработка радиальных фасок	0,5—0,8
Профилирование[1]	0,5—0,8
Чистовая подрезка	0,4—0,6
Чистовое точение	0,3—0,8

[1] При точении методом врезания глубиной резания является проекция режущей кромки на плоскость, перпендикулярную к подаче. Путь резания при этом равен припуску.

Величина подачи при токарной обработке колец на автоматах и полуавтоматах зависит в основном от жесткости технологической системы и прочности крепления обрабатываемой заготовки или прутка. При обработке крупногабаритных колец на токарных и карусельных станках величина подачи определяется по прочности инструмента.

Чистота обработанной поверхности в большинстве случаев не является ограничивающим фактором для назначения величины подачи вследствие возможности применения режущих инструментов с большим радиусом закругления или с горизонтальной режущей кромкой.

Рекомендуемые подачи для токарной обработки колец подшипников из стали ШХ15 в зависимости от применяемых типоразмеров инструментов и оборудования приведены в табл. 27.

27. Подачи при обработке колец подшипников на токарных станках в *мм/об*

Операция	Материал инструмента	Тип оборудования							
		Токарно-револьверные автоматы	Многошпиндельные прутково-трубные автоматы	Многошпиндельные патронные автоматы и полуавтоматы	Многорезцовые патронные полуавтоматы	Труборезные автоматы	Токарно-доделочные автоматы	Сферотокарные полуавтоматы	Токарные и карусельные станки
		Подача s*							
Продольное точение и расточка	Твердый сплав	0,08—0,12	0,2—0,5	0,25—0,6	0,4—0,8	—	—	0,3—0,8	0,4—0,8
Подрезка	Твердый сплав	0,06—0,10	0,1—0,25	0,15—0,30	0,2—0,6	—	—	—	0,3—0,6
Отрезка	Быстрорежущая сталь	0,04—0,06	0,05—0,1	—	—	0,08—0,15	—	—	—
	Твердый сплав	0,03—0,05	0,05—0,08	—	—	0,06—0,10	—	—	—
Профилирование	Быстрорежущая сталь	0,03—0,05	0,03—0,08	0,03—0,08	—	—	0,06—0,12	—	—
	Твердый сплав	0,02—0,04	0,02—0,07	0,02—0,07	—	—	0,06—0,12	—	—
Сверление от 3 до 10	Быстрорежущая сталь	От 0,015 до 0,01 диаметра сверла		—	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	0,2—0,4	0,3—0,8	0,3—0,8	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	0,2—0,4	0,3—0,8	0,3—0,8	—	—	—	—	—

* Меньшие значения относятся к легким станкам.

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов повышает стойкость режущих инструментов, особенно быстрорежущих и снижает силы резания (главным образом радиальную составляющую).

Смазочно-охлаждающие жидкости следует применять при обработке стали как для быстрорежущего, так и для твердосплавного инструментов.

При обработке колец подшипников на токарных автоматах и полуавтоматах применяют главным образом следующие смазочно-охлаждающие жидкости: эмульсии, сульфофрезол и индустриальные масла 12 (веретенное 2) и 20 (веретенное 3).

Эмульсия состоит из эмульсола, кальцинированной соды и нитрита натрия, растворенных в воде.

Эмульсол состоит из 5—20% мыла (обычно из окисленного петролатума) и 95—80% индустриального масла.

3,5%-ная эмульсия содержит на 1 *л* воды: 35 *Г* эмульсола (при содержании в нем 10% мыла), 2—3 *Г* кальцинированной соды и 2—3 *Г* нитрита натрия.

28. Характеристика охлаждающих жидкостей

Показатели качества	Сульфофрезол	Индустриальное масло 12	Индустриальное масло 20
Вязкость при 50° С кинематическая в *сст*	20—25	20—24	17—29
Температура вспышки (не ниже) в град. С	160	165	170

Для многошпиндельных автоматов и полуавтоматов рекомендуется применять 10%-ную эмульсию.

Основные показатели качества сульфофрезола (по ГОСТ 122-54) и индустриальных масел 12 и 20 (по ГОСТ 1707-51) приведены в табл. 28.

НОРМИРОВАНИЕ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Техническая норма выработки при 7-часовом рабочем дне определяется формулой

$$N = \frac{420}{T_{шт}} \text{ шт/смену.}$$

Здесь $T_{шт}$ — штучное время обработки в минутах.

Штучное время обработки при серийном характере производства определяется следующей зависимостью:

$$T_{шт} = T_м + T_в + T_{от} + T_0 \text{ мин.},$$

где $T_м$ — машинное (основное технологическое) время в мин.; $T_в$ — вспомогательное время в мин; $T_{от}$ — время организационно-технического обслуживания в мин.; T_0 — время на естественные надобности.

Доля каждого из составляющих штучного времени в % при токарной обработке колец подшипников для различных групп оборудования приведена в табл. 29.

Машинное время $T_м$ обработки определяется для одного из следующей общей зависимости:

$$T_м = \frac{L}{ns} = \frac{\pi DL}{1000 \cdot vs} \text{ мин.},$$

29. Элементы штучного времени при работе на токарных станках в %

Группы оборудования	Машинное время $T_{маш}$	Вспомогательное время $T_в$	Время организационно-технического обслуживания $T_{от}$	Время отдыха T_0	Итого штучное время $T_{шт}$
Многошпиндельные прутковые автоматы	60—85	5—15	8—15	1,5—2	100
Многошпиндельные патронные полуавтоматы	50—75	15—25	10—20	1,5—2	100
Одношпиндельные патронные полуавтоматы	30—60	30—60	6—30	1—2	100
Одношпиндельные труборезные автоматы	50—65	30—45	3—5	1—2	100
Токарно-операционные станки . .	40	40	18	2	100

где L — общий путь лимитирующего инструмента в *мм*; n — число оборотов детали или инструмента в мин.; D — диаметр обрабатываемой поверхности в *мм*; v — скорость резания обрабатываемой поверхности в *м/мин*; s — подача лимитирующего инструмента в *мм/об*.

К вспомогательному времени $T_в$ относится главным образом время на установку и снятие детали.

При работе на одношпиндельных станках вспомогательное время суммируется с машинным, в то время как на многошпиндельных станках время установки и снятия детали совмещается с машинным временем. Для одношпиндельных станков снижение времени за счет автоматизации загрузки-выгрузки возможно лишь при абсолютном уменьшении времени на установку и съем детали по сравнению с установкой вручную. При сохранении же времени на установку, автоматизацией достигается лишь возможность применения многостаночного обслуживания. Нормативы вспомогательного времени на установку и съем деталей при работе на токарных станках даны в табл. 30.

В табл. 31 приведено время на промеры колец. Как правило, промеры колец производятся во время рабочего цикла станка.

К времени организационно-технического обслуживания $T_{от}$ относится: время на смену и подналадку режущего инструмента, подналадку станка и приспособлений, удаление стружки в процессе работы, сдача колец в ОТК и промер их

30. Элементы вспомогательного времени $T_в$ при работе на токарных станках в мин.

Наименование элементов вспомогательного времени	Наружный диаметр обрабатываемой детали	Многошпиндельные автоматы	Многошпиндельные полуавтоматы	Одношпиндельные полуавтоматы	Токарно-операционные станки
Время на смену прутка (для многошпиндельных автоматов). Время на установку в патрон и съем детали (для всех других групп оборудования)	До 20	2,0	—	—	0,13
	20—35	2,7			
	35—45	3,2			0,14
	45—60	3,7	0,05—0,04		0,14
	60—80			0,13—0,12	0,16
	80—100		0,06—0,05	0,16—0,15	
	100—120	—	0,07—0,06		
	120—140	—	—	0,21—0,17	
	140—160	—	—	—	0,17
	160—180	—	—	0,23—0,2	0,21
	180—200	—	—		
	200—220	—	—	0,25—0,22	
	220—240	—			
	240—260	—	—		0,29

Примечания: 1. Для многошпиндельных автоматов вспомогательное время на одну деталь определяется как сумма времен, отнесенная к количеству a деталей, изготовленных из одного прутка, определяемое выражением

$$a = \frac{L - l}{h + B} \text{ шт.},$$

где L — общая длина прутка; l — конец прутка для зажима в цанге; B — ширина отрезки; h — высота кольца.

2. Вспомогательное время на установку детали в патрон для многошпиндельных полуавтоматов дано для случая, когда в загрузочном положении шпинделя производится обработка.

3. В величину вспомогательного времени для одношпиндельных полуавтоматов включено время на очистку и промывку патрона от мелкой стружки.

4. Большее время на установку и съем детали соответствует установке по необработанным поверхностям.

31. Время на промеры колец

Кольца	Измеряемый параметр	Способ измерения	Время на одно измерение в мин.	Периодичность промеров
Все виды колец	Высота кольца	На приборе	0,08	Через 10 колец
То же	Внутренний диаметр	То же	0,08	То же
»	То же	Пробкой	0,05	»
»	Координаты монтажных фасок	Шаблоном	0,2	Через 20 колец
»	Координаты прямых фасок	Угольником	0,2	То же
Наружные и внутренние кольца шарикоподшипников	Диаметр желоба и разностенность	На приборе	0,16	Через 5 колец
То же	Радиус желоба	Шаблоном	0,1	Через 10 колец
»	Радиус и положение оси желоба к торцу	Шаблоном	0,3	То же
Внутренние кольца шарикоподшипников	Диаметр желоба	Скобой	0,1	»
То же	Разностенность желоба к внутреннему диаметру	На приборе	0,2	»
Наружные и внутренние кольца шарикоподшипников серии 50	Положение канавки к торцу	Шаблоном	0,2	»
То же	Глубина канавки	На приборе	0,1	»
Наружные кольца конических роликоподшипников	Диаметр роликовой дорожки и угол	То же	0,16	Через 5 колец
Внутренние кольца конических роликоподшипников	Угол бортика	Шаблоном	0,1	Через 10 колец
То же	Высота и параллельность бортика	На приборе	0,2	То же
»	Диаметр малого и большого бортов	Скобой	0,2	»

и время на подготовку и уборку рабочего места в начале и конце смены. Среднее время организационно-технического обслуживания приведено в табл. 32.

Время на естественные надобности T_o принимают равным 8 мин. за смену на одного работающего.

32. Время на организационное и техническое обслуживание рабочего места в мин.

Элемент времени	Многошпиндельные автоматы	Многошпиндельные полуавтоматы		Одношпиндельные полуавтоматы		Токарно-операционные станки	
		При обработке					
	Полная обработка колец	по расчлененному процессу	по совмещенному процессу	в 2 операции	в 3 операции	Обточка желоба, выточка галтели и канавок	Обточка фасок
Организационное обслуживание							
Подготовка и уборка рабочего места в начале и конце смены	12	8	10	8	8	5	5
Техническое обслуживание							
Смена и регулировка режущего инструмента	24	12	18	12	10	12	10
Подналадка станка и приспособлений	20	10	18	10	8	4	1
Удаление стружки с резцов в процессе работы	5	5	5	10	7	4	1
Сдача колец в ОТК и промер их	5	5	5	7	7	7	7

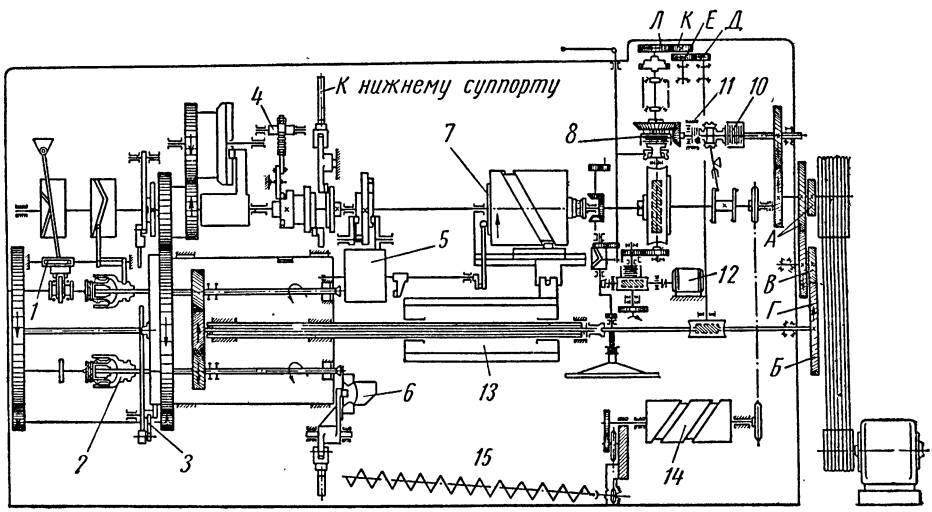
Примечание. Время на уборку установлено для всех групп станков с учетом нормы обслуживания в два станка, кроме токарно-операционных, для которых норма обслуживания — один станок.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Современное металлорежущее оборудование, применяемое для токарной обработки колец подшипников при их серийном и массовом производстве, обеспечивает автоматизацию рабочего цикла, подход инструментов в рабочее положение, резание, отвод инструментов в исходное положение, включение очередного рабочего цикла или выключение подачи на полуавтоматических станках.

щих органов управления автоматом производится от кулачков, расположенных на распределительном валу.

Для ускорения вспомогательных движений станка (подачи материала до упора, зажима и разжима цанги, подвод и отвод суппортов в исходное положение и пр.) распределительному валу автоматически сообщается постоянное быстрое вращение. Число оборотов распределительного вала на рабочем ходу зависит от технологической операции и регулируется сменными шестернями коробки подач *А*, *Б*, *В*, *Г*.



Фиг. 31. Кинематическая схема четырехшпиндельного прутково-трубного автомата 1290: *1* — механизм подачи прутка; *2* — механизм зажима прутка; *3* — механизм подъема шпиндельного барабана; *4* — механизм фиксации шпиндельного барабана; *5* — верхние суппорты; *6* — нижние суппорты; *7* — привод упора; *8* — фрикционная муфта рабочего хода; *9* — муфта обгона; *10* — фрикционная муфта холостого хода; *11* — тормоз; *12* — электродвигатель наладочного вращения; *13* — продольный суппорт; *14* — барабан устройств; *15* — транспортер для удаления стружки.

Прутково-трубные автоматы и патронные станки, оснащенные автооператорами для установки и снятия обработанной детали, являются полными автоматами, у которых повторение рабочего цикла производится автоматически.

Типовая циклограмма работы многошпиндельного автомата показана на фиг. 20.

Кинематическая схема 4-шпиндельного прутково-трубного автомата модели 1290 показана на фиг. 31 [10].

Рабочий цикл станка осуществляется за один полный оборот распределительного вала. Включение соответствую-

Автооператоры

Устройства, применяемые для автоматической загрузки-выгрузки обрабатываемых деталей на металлорежущих станках, называются автооператорами.

Автооператоры для токарных полуавтоматов при обработке колец подшипников применяют с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом.

Типовые конструкции автооператоров токарных полуавтоматов показаны на фиг. 32—34 [11].

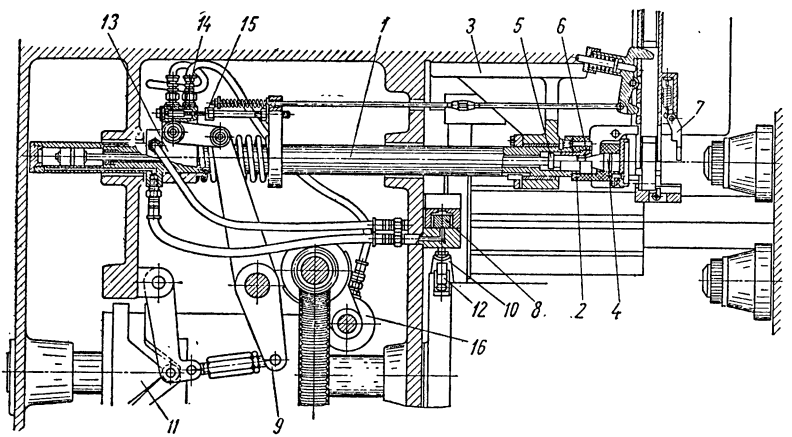
На фиг. 32 представлен автооператор с пневмомеханическим приводом,

установленным на четырехшпиндельном станке.

Автооператор состоит из полой скалки *1*, в передней части которой имеется трехкулачковый захват *2* для установки и снятия колец из зажимного патрона, а на задней установлен пневматический цилиндр. Скалка *1* поддерживается кронштейном *3*.

Блокирующее устройство управляет фрикционной муфтой привода главного распределительного вала. Это происходит следующим образом: при останове на препятствии скалки *1* рычаг *9* продолжает двигаться и ведет за собой свободно сидящую на скалке муфту *13* с укрепленным на ней клапаном *14*.

Пневматический клапан *14*, переме-



Фиг. 32. Автооператор с пневматическим приводом четырехшпиндельного патронного автомата.

Поршень цилиндра посредством тяги, проходящей внутри скалки, перемещает влево или вправо конус *4*, шток *5* и промежуточную втулку *6*. При перемещении поршня влево происходит сжатие зажимных кулачков патрона, а при перемещении вправо — разжатие. Откидной упор *7* удерживает кольцо от опрокидывания в момент сбрасывания его в лоток.

Сжатый воздух поступает в пневматический цилиндр скалки из золотникового распределительного крана *8*. Движение скалки *1* вдоль оси и управление краном *8* осуществляются посредством рычагов *9* и *10*, приводимых в действие кривой *11* и кулачком *12*, установленными на барабане распределительного вала станка, что обеспечивает кинематическую связь механизмов загрузочного устройства с работой механизмов станка.

Автооператор снабжен блокирующим устройством, предохраняющим механизмы станка и автооператора от поломок при неправильном включении его или в случае, когда в патроне остается неснятым обработанное кольцо, или заготовка имеет отличные от заданных размеры. щаясь, упирается в упор *15* и открывает доступ сжатому воздуху в цилиндр *16*, а шток последнего воздействует на вилку фрикционной муфты, отключающей привод распределительного вала.

Автоматическое управление пневматическими зажимными патронами шпинделей станка осуществляется дополнительно установленным на станке рычажным механизмом, работа которого увязана с общим циклом станка.

На фиг. 33 представлена схема автооператора с гидравлическим приводом и бункером шестишпиндельного полуавтомата 1261П.

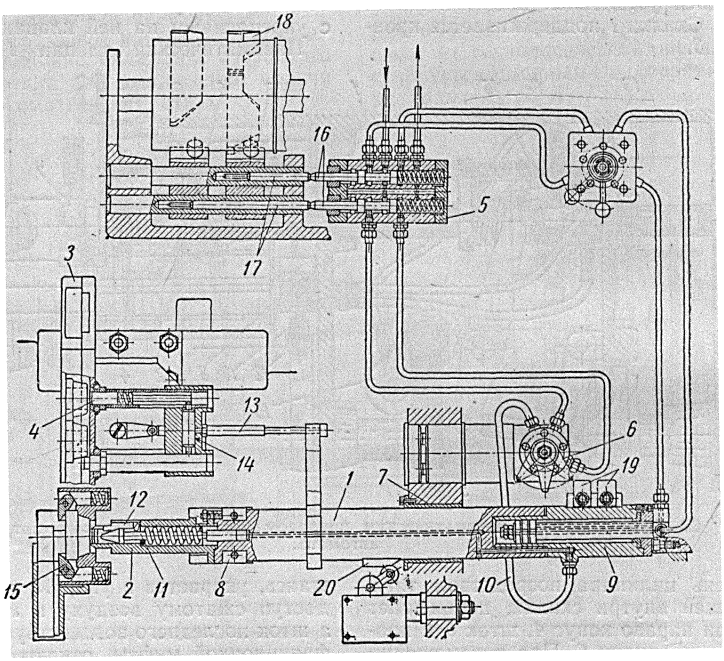
Автооператор приводится в действие от гидропривода станка и снабжен гидравлическим управлением.

Основные узлы автооператора: подвижная скалка *1* с закрепленным на ней кулачковым зажимом *2*; бункер *3* с подпружиненными штырями отсекателя *4*; гидросистема с распределительной золотниковой коробкой *5* и пилотом *6*.

Скалка *1* расположена на загрузочной позиции станка соосно со шпинделем и перемещается в опоре *7* с помощью укрепленного на скалке ползуна *8* по на-

правляющим продольного блока станка.

На заднем конце скалки имеется гидравлический цилиндр *9*, а на переднем — закреплен кулачковый зажим, к которому через каналы в скалке от гидроцилиндра шлангом *10* подводится масло.



Фиг. 33. Автооператор с гидравлическим приводом шестишпиндельного патронного автомата модели 1261П.

Масло воздействует на плунжер и через пружину на конусный шток *11*, разводящий кулачки *12* для зажима кольца.

Освобождение кольца от зажима при переключении подачи масла производится пружиной, сводящей кулачки зажима к центру.

Поштучная выдача колец из бункера в автооператор осуществляется штырями-отсекателями, на которые воздействует тяга *13*, укрепленная в ползуне *14*. Тяга *13* другим концом введена в отверстие хомута, установленного на скалке, и заканчивается ограничивающей гайкой.

В ползуне *14* смонтирован фасонный кулачок, ось которого представляет зубчатый сектор, сцепленный с рейкой. При перемещении тяги *13* и ползуна *14* согласованно с движением скалки *1*, рейка, перемещаясь в ползуне, входит в контакт с верхним или нижним штырем-отсекателем, которые поочередно совершают поштучную выдачу колец или удерживают запас колец в магазине.

В нижней части магазина находятся подпружиненные откидные упоры *15*, которые удерживают очередное кольцо-заготовку в правильном положении при захвате кулачковым зажимом из патрона обработанного кольца.

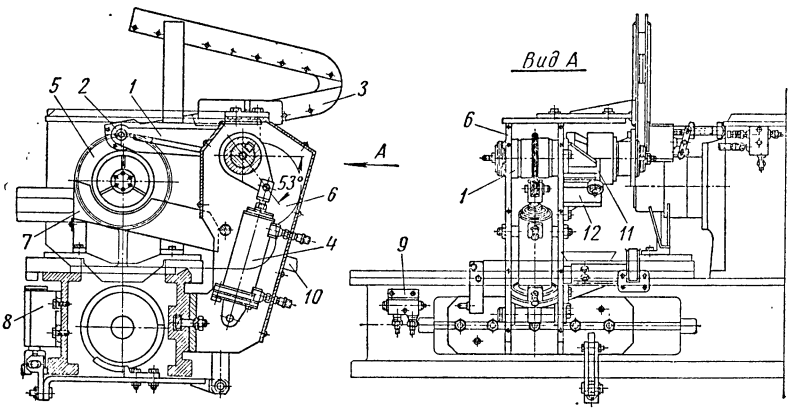
Распределительная коробка *5* состоит в основном из двух золотников *16*, управляющих подачей жидкости соответственно к цилиндру *9* скалки и к пилоту *6*.

Переключение золотников *16* осуществляется посредством скалок *17* от двух кулачков *18*, укрепленных на барабане верхнего распределительного вала, а золотников пилота *6* — от кулачков *19*, смонтированных на скалке *1*.

Если скалка *1* при неправильной установке кольца или по другой причине не дойдет до исходного положения, путевой кулачок *20*, воздействуя на конечный выключатель, управляющий муфтой сцепления распределительного вала, остановит рабочий цикл.

Автооператор к одношпиндельному токарно-доделочному полуавтомату ТОП-200, модель 2 представлен на фиг. 34.

Автооператор имеет следующие основные узлы: загружатель *1*; головка загружателя *2*; лоток-магазин *3*; пневматический цилиндр *4*; зажимной патрон *5*; кронштейн *6*; подвижной лоток *7*; цилиндр муфты *8*; блокировочные клапаны *9*; отводящий желоб *10*; упоры верхний и нижний *11* и *12*.



Фиг. 34. Загрузочное устройство и автооператор токарно-доделочного автомата ТОП-200.

Загружатель, выполненный в виде пружинно-муфтового механизма, совершает два движения: поворотно-возвратное перпендикулярно оси шпинделя станка, от магазина *3* к зажимному патрону *5* и обратно, и прямолинейное вдоль оси движение для заталкивания кольца из лотка-магазина в патрон станка. Оба движения осуществляются от штока поршня пневматического цилиндра *4*. Движение загружателя автооператора и перемещение суппорта станка сблокировано и кинематически увязано с циклом обработки.

Для предохранения механизмов станка и автооператора от поломок при несвоевременном включении их на станке предусмотрены блокировочные клапаны.

Время, в течение которого осуществляется загрузка-выгрузка кольца, составляет 0,5—2 сек.

Блокирующие устройства

Современные металлорежущие автоматы снабжены различными блокирующими устройствами: тепловыми реле для защиты от перегрузки электродвигателей; конечными выключателями электродвигателя при открытии дверок ниш сменных шестерен скоростей и подач и других механизмов, нуждающихся в периодической регулировке или осмотре; электромагнитными механизмами для остановки распределительного вала станка при израсходовании прутка или трубы в одном из шпинделей и др. [12].

Вне станка применяют контрольные устройства для предупреждения попадания заготовок с отклонениями от заданных предельных размеров на обработку, а также устройства для остановки автомата при поломках резцов. Таким устройством оборудован автооператор, показанный на фиг. 33.

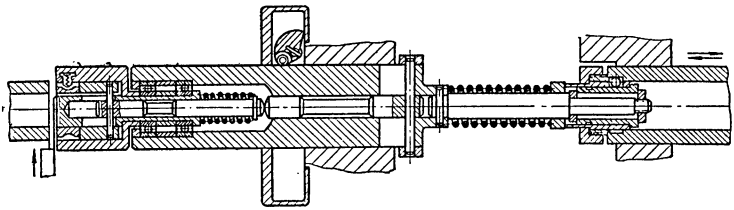
На фиг. 35 показан выгружатель колец после их обработки на шестишпиндельном автомате модели О1СО5.

Выгружатель снабжен блокирующими устройствами для остановки станка, когда кольцо неполностью обработано, а также если кольцо не отделено от трубы вследствие поломки отрезного резца [13].

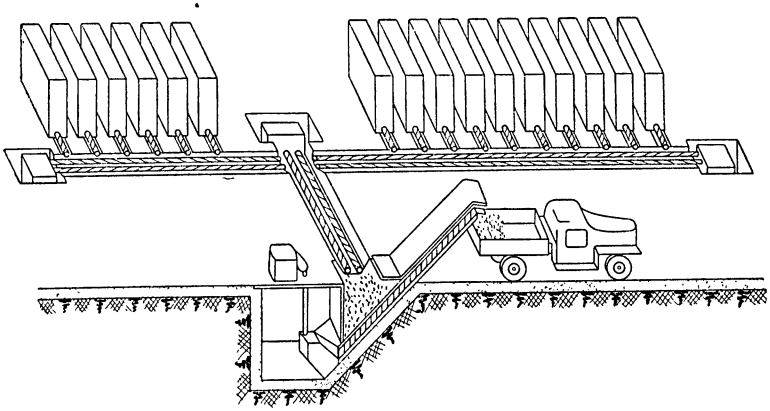
Уборка стружки

При обработке стали ШХ15 образуется сливная или витая стружка. Насыпной вес витой стружки ШХ15 составляет 0,06—0,1 $т/м^3$. Удаление такой стружки из станка и ее транспортирование представляют значительные трудности.

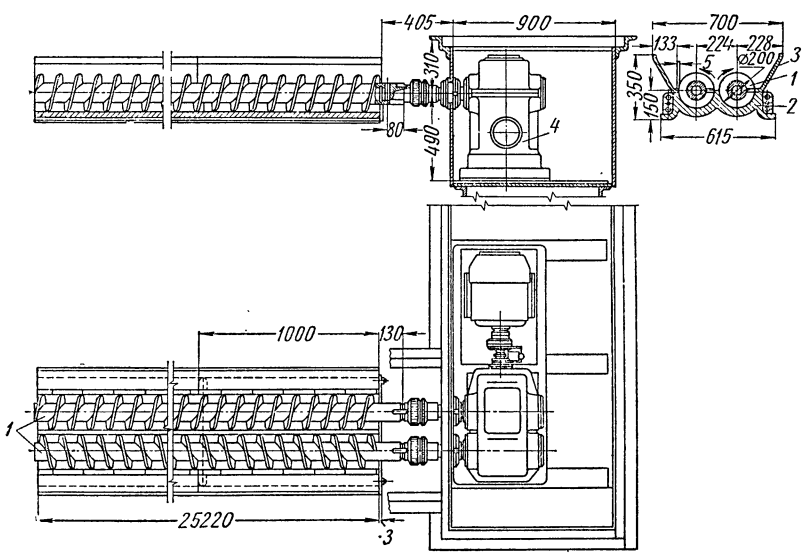
Для транспортирования стальной стружки применяют различного рода



Фиг. 35. Выгружатель колец с блокирующим устройством для остановки шестишпиндельного автомата 01С05 при неполностью обработанном кольце.



Фиг. 36. Схема транспортной системы для стружки на участке токарных автоматов.



Фиг. 37. Двухвинтовой конвейер для транспортирования стальной стружки.

транспортеры скребкового или винтового типа, а также конвейеры с возвратно-поступательным движением [14].

Транспортеры для удаления стружки из зоны резания являются неотъемлемой частью автоматизированных металлорежущих станков.

Для этой цели обычно применяют винтовые плавающие транспортеры. Расположение такого транспортера и схема его привода на автомате 1290 показана на фиг. 31.

Конвейеры для транспортирования стружки от станков обычно монтируются под полом цеха.

Типовая схема транспортной системы для уборки стружки на участке токарных автоматов приведена на фиг. 36.

В цехе массовых подшипников 1ГПЗ стружка транспортируется двухвинтовыми конвейерами, показанными на фиг. 37.

Шнеки *1* с правой и левой спиралью смонтированы в корыте *2*, снабженном накидными стенками *3*. Шнекам сообщается правое и левое вращение от редуктора *4* посредством плавающих муфт. При 7—10 об/мин винтов расходуемая мощность составляет 0,06—0,07 *квт* на 1 пог. *м* длины конвейера.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Соколовский А. П., Научные основы технологии машиностроения, Машгиз, 1955.
2. Мягков В. Д. Допуски и посадки, Машгиз, 1948.
3. Каневцов В. М., Прогрессивная технология и металлорежущее оборудование для обработки деталей подшипников, Сб. научно-технической информации, вып. 19, ЭНИИПП, 1959.
4. Грановский Г. И., Металлорежущий инструмент, Машгиз, 1954.
5. Беленко И. С., Бесподналадочная оснастка и размерная настройка токарных автоматов, ЦИНТИМАШ, Сб «Подшипниковая промышленность» № 3, 1960.
6. Каневцов В. М., Отрезные резцы, ЭНИИПП, Сб. трудов № 2, 1960.
7. Каневцов В. М., Новые конструкции зажимных патронов и оправок для закрепления штампованных заготовок при токарной обработке. Прогрессивная технология машиностроения, кн. 41, Машгиз, 1956.
8. Беленко И. С. Прогрессивные режимы резания токарной обработки колец подшипников, Технология подшипникостроения, вып. 15, ЭНИИПП, 1958
9. Титов Г. Н., Усилие резания и стойкость фасонных резцов, Машиностроитель № 4, 1937.
10. Геец Г. А., и др. 4-шпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы 1290 и 1290П, Машгиз, 1955.
11. Квартин Л. М., Автоматизация многошпиндельных и одношпиндельных токарных полуавтоматов, Московский дом научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского, М. 1957.
12. Заманский С. М. Направление развития конструкций автоматов Киевского завода станков-автоматов в кн. «Автоматизация и машиностроении», Машгиз 1955.
13. Власов С. Н., Структура построения автоматических линий для производства подшипников. Станки и инструмент, № 10, 1956.
14. Бобров, В. П., Конвейеры для удаления стружки, Станки и инструмент № 3, 1957.

Глава XVIII

ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Высокая экономическая точность размеров и формы, а также качество обработанных поверхностей закаленных деталей, достигается только шлифованием, которое осуществляется вращающимся шлифовальным кругом. Поэтому процесс шлифования в технологии подшипникостроения является одним из основных процессов.

Для дальнейшего улучшения качества главных рабочих поверхностей деталей подшипников при сохранении достигнутой точности размеров и формы при шлифовании, применяют дополнительные доводочные процессы: шлифование мелкозернистыми кругами, доводку абразивной лентой с маслом и др.

Так как при равномерном вращении шлифовального круга путь, проходимый в минуту, равен $2\pi rn$, где n — число оборотов круга в минуту, то скорость круга в секунду равна

$$v_к = \frac{2\pi rn}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi rn}{30 \cdot 10^3} \text{ м/сек},$$

где r — радиус круга в *мм*.

Полезная мощность на валу круга равна

$$N_в = M\omega = M\frac{\pi n}{30},$$

где M — крутящий момент; $\omega = \frac{\pi n}{30}$ — окружная скорость круга.

При шлифовании наружных и внутренних поверхностей вращения одновременно с кругом вращается и обрабатываемая деталь, но с меньшей окружной скоростью. Скорость детали $v_д$ выражается в *м/мин* и соответственно определяется по формуле

$$v_д = \frac{2\pi Rn_д}{1000} \text{ м/мин}.$$

При шлифовании плоскостей обрабатываемая деталь перемещается относительно круга в определенной плоскости. При шлифовании сложных поверхностей осуществляются более сложные кинематические связи круга с деталью.

Полезная работа шлифования совершается с момента касания круга с обрабатываемой деталью и протекает все время, пока поперечная рабочая подача поддерживает контакт круга с деталью. Под действием рабочей поперечной подачи каждое абразивное зерно за один оборот шлифовального круга углубляется в материал обрабатываемой детали и производит сжатие элементарного объема металла как в направлении движения поперечной подачи, так и в направлении вращения круга. Под влиянием сжатия в элементарном объеме металла происходит пластическая деформация, а в близлежащих слоях развиваются упругие деформации, постепенно затухающие по направлению более глубоких слоев основной массы металла. Пластически деформированный абразивным зерном элементарный объем металла под действием окружной силы отрывается от массы детали в виде стружки. Процесс пластической деформации и отрыв элементарных объемов металла в виде стружки сопровождается большой работой внутреннего и внешнего трения зерна и связки круга с обрабатываемым металлом и протекает в условиях мгновенного образования большого количества тепла. Под влиянием совокупности физико-механических факторов, действующих в процессе шлифования, происходят некоторые изменения свойств поверхностного слоя, которыми технолог может управлять, задавая оптимальную закономерность удаления припуска во времени для каждой конкретной шлифовальной операции.

Эффективное удаление припуска на обработку поверхности детали находится в зависимости от:

1) скорости поперечной подачи, скорости круга и скорости детали; при шлифовании длинных поверхностей существует зависимость и от продольной подачи;

2) жесткости технологической системы;

3) свойств шлифовального круга;

4) смазочно-охлаждающей жидкости.

Каждое зерно круга в процессе шлифования испытывает внешнее давление в виде усилия шлифования и находится под влиянием сил трения, в результате чего оно изнашивается или дробится и притупляется. В зависимости от режима шлифования и износостойкости зерна и связки происходит изнашивание шлифовального круга.

При точном шлифовании закаленных деталей подшипников изнашивание шлифовальных кругов на керамической связке происходит при частичном самозатачивании, поэтому периодически требуется их принудительная заправка. Изнашивание кругов на эластичной связке, например на вулканитовой, при шлифовании желобов колец методом качания происходит при более полном самозатачивании, и заправка кругов не требуется. Во всех случаях производительность и экономичность процесса зависят, в числе других факторов, и от соотношения объемов снимаемого металла и расходуемого круга в единицу времени.

Это соотношение при выполнении конкретных технических условий на любой шлифовальной операции служит сравнительной оценкой качества круга и носит название удельной производительности круга, определяемой делением объема снятого металла $V_м$ на объем израсходованного круга $V_к$ в секунду.

Физико-техническое определение этого критерия оценки качества круга может быть сформулировано так: удельная производительность шлифовального круга есть число, выражающее объем металла, сошлифованный единицей объема круга в секунду,

$$q = \frac{V_м}{V_к}.$$

Круги с одной и той же намаркированной характеристикой по зерну, связке, структуре, твердости и рецептуре, при всех прочих равных условиях шлифования, могут иметь разную удельную производительность вследствие нестабильности их качества. Это указывает на то, что удельная производительность является существенным критерием качества круга в дополнение к существующей намаркированной характеристике и более полно отражает технологические качества круга для конкретной шлифовальной операции.

Зная начальные и конечные размеры поверхности обрабатываемой детали и круга, легко определить средние объемы снятого металла и израсходованного круга $V_м$ и $V_к$ в секунду.

Существенным является также критерий — стойкость круга, лежащий в основе расчета потребности кругов на заданную программу и выражающий количество прошлифованных деталей по заданным техническим условиям за всю «жизнь круга».

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КРУГА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Известно, что средний элементарный объем металла, удаляемый одним зерном за один контакт с деталью, уменьшается при увеличении скорости круга.

$$V = \frac{\pi D_{ср} L t}{v_к \Delta_к m h 6 \cdot 10^4} \; мм^3/зерно,$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр слоя сошлифованного металла в *мм*; L — длина детали в *мм*; t — толщина снятого слоя металла в *мм*; $v_к$ — скорость круга в *м/сек.*; $\Delta_к$ — толщина изношенного слоя круга в *мм*; m — количество зерен в одном $мм^3$ круга; h — ширина круга в *мм*.

Чем больше скорость шлифовального круга $v_к$, тем больше количество контактов абразивного зерна с обрабатываемой деталью в единицу времени и каждое зерно при этом удаляет меньший элементарный объем металла. Поэтому увеличение скорости круга дает следующие преимущества.

1. Уменьшается нагрузка на абразивное зерно при каждом его контакте с обрабатываемой деталью,— поэтому круг меньше изнашивается и стойкость его увеличивается.

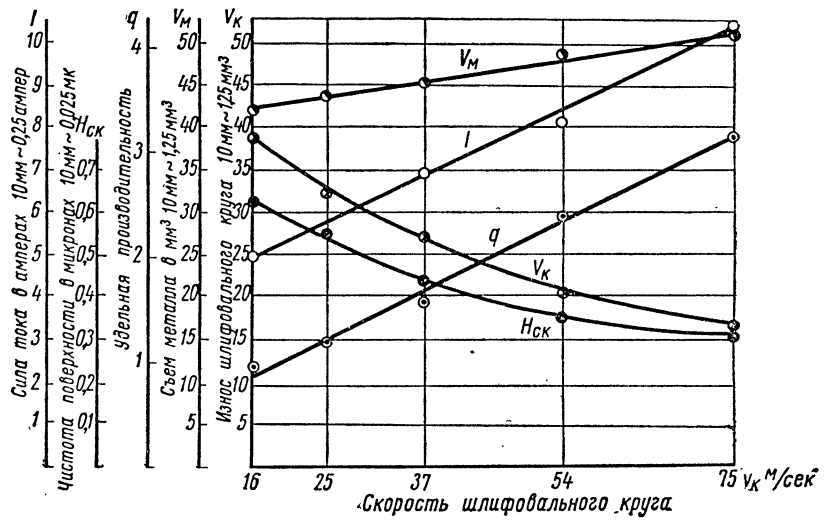
2. Количество резов абразивными зернами увеличивается, а глубина резов уменьшается, — поэтому шероховатость поверхности уменьшается.

3. При уменьшении нагрузки на каждое зерно сила шлифования уменьшается, — поэтому уменьшаются упругие деформации технологической системы и повышается точность размеров и формы деталей.

4. Увеличивается производительность процесса шлифования (фиг. 1).

керамическими кругами с систематической заправкой алмазом и дорожек качения вулканитовыми кругами, которые работают при полном самозатачивании, это влияние особенно велико.

Для стабилизации процесса шлифования необходимо автоматически регулировать линейную скорость шлифоваль-



Фиг. 1. Влияние скорости шлифовального круга на вулканитовой связке на процесс шлифования внешних сферических поверхностей (желобов) колец шарикоподшипников. Постоянные параметры: поперечная подача суппорта $t = 0{,}9$ *мм/мин*; скорость детали $v_д = 500$ *м/мин*; число качаний $s = 34$ дв. кач/мин.

Процесс шлифования всегда следует вести при скорости, допускаемой прочностью круга, и при высокоточной балансировке.

ГОСТ разрешает работать кругами со скоростью 50 *м/сек*, если они выдерживают предварительное испытание на разрыв на холостом ходу со скоростью на 50% больше рабочей.

Абразивная промышленность освоила и выпускает высокоскоростные круги на керамической, вулканитовой и бакелитовой связке для рабочей скорости 50 *м/сек*, которые рекомендуется широко использовать при шлифовании деталей подшипников.

При шлифовании абразивные круги изнашиваются, их скорость автоматически уменьшается (так как число оборотов круга постоянно) и, следовательно, эффективность скоростного режима снижается. При шлифовании отверстий ного круга. Она должна быть максимальной и постоянной. Увеличение оборотов по мере износа круга должно осуществляться автоматически и бесступенчато.

Для более эффективной правки алмазом и при холостых ходах, чтобы обезопасить рабочих, скорость круга необходимо автоматически уменьшить в 2—3 раза.

При скоростном шлифовании колец подшипников качения применяют высокочастотные электрошпиндели.

Электрошпиндель представляет собой шлифовальную головку со встроенным электродвигателем. Электрошпиндели ЭНИИПП-ГПЗ, применяемые в промышленности снабжены асинхронным коротко замкнутым электродвигателем переменного тока повышенной частоты.

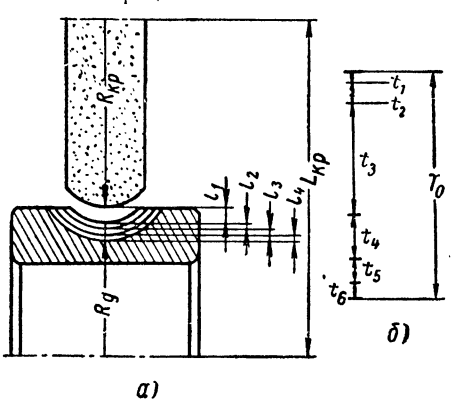
В табл. 1 приведены основные данные электрошпинделей ЭНИИПП-ГПЗ.

1. Техническая характеристика электрошпинделей ЭНИИПП-ГПЗ

Тип электрошпинделя	Мощность на валу в *квт*	Число оборотов вала (синхронное) в мин.	Напряжение в *в*	Частота тока в пер/сек	Диапазон обрабатываемых отверстий в *мм*	Длина шлифования в *мм*
ЭШ-12/5	5	12 000	220/380	200	50—80	До 80
ЭШ-12/7,0-М	7	12 000	220/380	200	50—80	» 80
ЭШ-18/3,5	3,5	18 000	220/380	300	35—55	» 60
ЭШ-18/2,2	2,2	18 000	— /220	300	30—50	» 50
ЭШ-24/2,0	2,0	24 000	220/380	400	20—35	» 50
ЭШ-30/0,1	0,1	30 000	36/ —	500	До 10	» 10
ЭШ-36/2,5	2,5	36 000	127/220	600	15—30	» 40
ЭШ-48/0,8	0,8	48 000	127/220	800	7—15	» 25
ЭШ-60/0,1	0,1	60 000	127/220	1000	3—8	» 10
ЭШ-72/0,6	0,6	72 000	127/220	1200	3—12	» 15
ЭШ-96/0,1	0,1	96 000	127/220	1600	3—6	» 8
ЭШ-120/0,1	0,1	120 000	127/220	2000	3—5	» 5

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОПЕРЕЧНОГО СУППОРТА НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ

На фиг. 2 показана схема размерной цепи и схема цепи времени рабочего цикла при шлифовании желоба внутреннего кольца, элементы которых входят в расчеты производительности технологической операции. Эти схемы являются типовыми и для других шлифовальных операций.



Фиг. 2. Схемы рабочего цикла шлифования при шлифовании желоба внутреннего кольца: *а* — схема размерной цепи; *б* — схема цепи времени рабочего цикла.

В размерную цепь входят следующие звенья:

$$R_д = L_к - l_1 - l_2 - l_3 - l_4 - R_к,$$

где $R_д$ — окончательный размер радиуса желоба; l_1 — путь быстрого подвода круга к детали с исходной позиции до появления искры; l_2 — путь врезания круга в деталь до переключения на режим грубого шлифования; l_3 — путь круга при грубом шлифовании; l_4 — путь круга при окончательном шлифовании; R — радиус круга переменный вследствие износа круга; L — расстояние между осями вращения круга и шлифуемой детали.

В основное технологическое время входят следующие составляющие:

$$T_o = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6,$$

где T_o — основное технологическое время рабочего цикла; t_1 — время на быстрый подвод круга к шлифуемой детали до появления искры; t_2 — время на врезание круга в деталь; t_3 — время на грубое шлифование; t_4 — время на окончательное шлифование; t_5 — время на компенсацию износа круга; t_6 — время на отвод круга в исходное положение.

Размерная цепь и цепь времени для каждой шлифовальной операции структурно не изменяются, а изменяется числовое значение их для каждой шлифуемой детали.

Эти изменения зависят от:

а) величины припуска на шлифование.

б) стабильности качества и однородности шлифовальных кругов;

в) жесткости технологической системы.

Оптимальные высокопроизводительные режимы при шлифовании поверхностей деталей подшипников осуществляют механическими и электромеханическими системами автоматического регулирования цикла шлифовальной

операции двумя и тремя ступенями скоростей поперечного суппорта:

а) для грубого и чистового шлифования;

б) для грубого, чистового и доводочного шлифования («выхаживание» за счет упругих деформаций технологической системы по времени).

Механические и электромеханические системы автоматического регулирования цикла шлифовальной операции осуществляют кулачками, ступенчатыми калибрами, электроконтактными приборами, реле времени и другими механизмами.

На основе результатов исследований, проведенных за последние годы, можно утверждать, что существующие системы автоматического регулирования не обеспечивают полного управления процессом шлифования. Шлифовальный процесс не полностью управляем до сих пор по следующим причинам:

а) изменение припусков на каждой детали связано с изменением скорости действительного съема припуска за счет изменения упругих деформаций технологической системы:

б) изменение скорости износа шлифовальных кругов связано с изменением скорости съема припуска и теплового режима за счет изменения радиальной силы и связанной с ней упругой деформации технологической системы; круг более твердый «засаливается» и увеличивается тепловое напряжение, круг более мягкий быстрее изнашивается.

Существующие системы автоматического регулирования рабочего цикла процесса шлифования можно характеризовать уравнением:

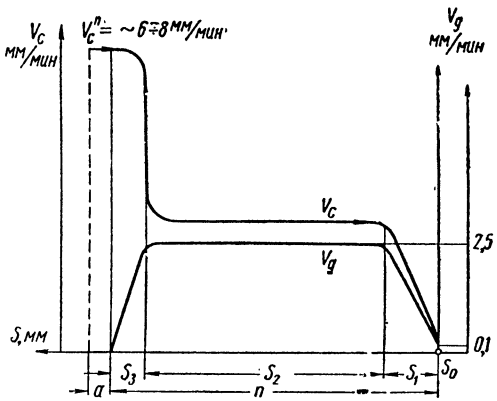
$$v_д = v_c - v_{из.к} - v_{у.д},$$

где $v_д$ — скорость действительного съема припуска; v_c — скорость перемещения поперечного суппорта станка; $v_{из.к}$ — скорость износа шлифовального круга: $v_{у.д}$ — скорость упругой деформации технологической системы.

Из этого уравнения неполная управляемость процесса шлифования очевидна.

Главным технологическим фактором, предопределяющим производительность цикла шлифовальной операции, точность обработки и качество поверхности является скорость действительного съема припуска $v_д$. Этот параметр и лежит в основе построения технологической операции. Он в том или ином виде задается в циклах шлифовальной операции.

Оптимальный график скорости действительного съема припуска для наибо-



Фиг. 3. График изменения скорости действительного съема припуска для желобошлифовальной операции.

лее трудоемких и ответственных шлифовальных и доводочных операций (шлифование желобов, дорожек качения и посадочных отверстий) в функции припуска

$$v_д = \varphi(П)$$

может быть представлен кривой в виде трапеции. На фиг. 3 показан график изменения скорости действительного съема припуска для шлифования желобов при полном самозатачивании круга, на котором:

$П$—припуск на сторону; a — путь быстрого подхода круга до появления искры, v_c^n — скорость суппорта при подводе круга к шлифуемой детали на пути a до появления искры в *мм/мин*; s_3 — путь врезания круга в металл $\approx 0{,}03$ *мм*; $v_д$ — скорость действительного съема припуска на пути $s_3 s_2$, изменяющаяся от $v_д = 0$ до $v_{д_{max}}$ в *мм/мин*; s_2—глубина припуска, удаляемого при грубом шлифовании (основная часть припуска); $v_{д\,max}$ —скорость действительного съема припуска на пути s_2 в *мм/мин*; s_1—глубина припуска, удаляемого при доводочном процессе шлифования, равная $0{,}05 \div 0{,}06$ *мм*; $v_{д_{кон}}$ — скорость действительного съема припуска на пути $s_1 s_0$, изменяющаяся от $v_{д_{max}}$ до $v_д = 0{,}1$ *мм/мин*.

Выбор наклона прямой, не параллельной линии трапеции, должен гарантировать заданную шероховатость и отсутствие ожогов. При выполнении такой программы скорость поперечного суппорта v_c имеет несколько бо́льшую величину по уравнению

$$v_c = v_д + v_{из.к} + v_{у.д}.$$

$v_{д\,max}$ — для грубого шлифования и $v_{д\,кон}$ выбираются по нормативам, которые составлены на основе предварительных исследований и выбора оптимальной характеристики круга (для шлифования желобов при $v_к = 50$ *м/сек*, $v_{д\,max} \approx 1{,}0 \div 2{,}5$ *мм/мин*).

Выполнение программы рабочего цикла с максимальной производительностью и стабильность процесса шлифования и качества деталей можно обеспечить при замкнутой системе автоматического регулирования скорости действительного съема припуска с обратной связью. Применение таких систем позволяет снизить на заданную величину влияние на стабильность процесса шлифования колебаний упругих деформаций технологической системы и износа круга. При выполнении функций обратной связи уравнение скорости поперечного суппорта будет иметь вид:

$$v_c = v_{с.з} + K(v_{д.з} - v_д) = v_д + v_{из.к} + v_{у.д},$$

где $v_{с.з}$ — заданная скорость поперечного суппорта; $v_{д.з}$ — заданная скорость действительного съема припуска; $v_д$ — фактическая скорость действительного съема припуска; K — коэффициент усиления разности скоростей.

При такой системе регулирования поперечной подачи с любым отклонением $v_д$ — фактической скорости съема припуска от заданной по графику — $v_{у.з}$ возникает сигнал, который усиливается в K раз и подается на двигатель поперечной подачи. Двигатель подачи развивает такую скорость и такого знака, что фактическая скорость $v_д$ приближается к заданному значению $v_{д.з}$ со степенью точности, зависящей от коэффициента K. Для непрерывного измерения припуска в процессе шлифования применяют индуктивную измерительную головку, имеющую высокую точность измерения, высокую чувствительность (свыше 100 *в* на 1 *мм* припуска), большую выходную мощность (0,7—5,0 *вт*) и обладающую высокой надежностью в работе.

Для автоматического регулирования процесса шлифования при выполнении заданной программы может быть выбран один из следующих параметров:

$v_д$ — скорость действительного съема припуска в *мм/мин*;

$N_д$ — полезная мощность на валу шлифовального круга, соответствующая заданной скорости действительного съема припуска;

$P_р$ — радиальная сила шлифования, соответствующая заданной скорости действительного съема припуска.

Проектируя технологическую операцию, технолог должен задать программу скорости действительного съема припуска в виде графика для каждого конкретного случая и разработать методику, настройки автоматического цикла.

Автоматический цикл шлифовального станка выполняется в последовательности:

1. Ускоренная поперечная подача до касания круга со шлифуемой деталью.
2. Рабочая поперечная подача по заданному графику (программе).
3. Реверсивный ход шлифовальной бабки.

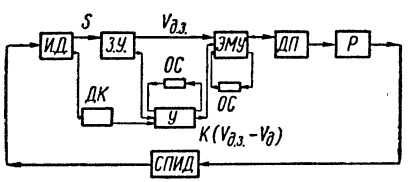
Автоматическая загрузка и выгрузка обрабатываемых деталей производится гидравлическими устройствами.

Системы автоматического регулирования с обратной связью используют на желобошлифовальных, круглошлифовальных и внутришлифовальных автоматах.

На плоскошлифовальных и бесцентровых круглошлифовальных автоматах применяют различные системы автоматической подналадки для компенсации износа круга.

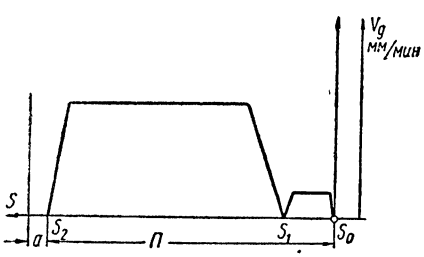
Ленинградский станкостроительный завод им. Ильича выпускает желобошлифовальные автоматы с электрической замкнутой системой автоматического регулирования 4ГПЗ — КИИ (Куйбышевский Индустриальный институт) конструкции канд. техн. наук В. С. Железнова и инженера В. Н. Михелькевича. Структурная схема этой системы автоматического регулирования по скорости действительного съема припуска приведена на фиг. 4.

На 1ГПЗ при шлифовании желобов колец применяется электрическая замкнутая система автоматического регулирования по потребляемой полезной мощности на валу шлифовального круга, соответствующей заданной скорости действительного съема припуска.



Фиг. 4. Структурная схема электрической замкнутой системы автоматического регулирования по скорости действительного съема припуска 4ГПЗ — *КИИ ИД* — индуктивный датчик; *ЗУ* — задающее или программное устройство; *ДК* — дифференцирующий контур; *У* — усилитель; *ЭМУ* — электромашинный усилитель; *ДП* — двигатель механизма поперечной подачи; *Р* — редуктор; *ОС* — звенья отрицательных обратных связей; *СПИД* — звено технологической системы.

В соответствии со схемой размерной цепи на фиг. 5 приведен двухступенчатый график изменения скорости суппорта поперечной подачи при шлифовании отверстий. Между первой и второй ступенью съем припуска прерывается, так как круг выходит на правку алмазом.



Фиг. 5. Двухступенчатый график изменения скорости суппорта поперечной подачи съема припуска при шлифовании отверстий: *Н* — общий припуск на данную операцию; s_0 s_1 — припуски на чистовое шлифование; s_1 s_2 — припуски на грубое шлифование.

Производительность на шлифовальной операции в конечном счете зависит от скорости действительного съема припуска и затрат вспомогательного времени. Скорость действительного съема припуска при сохранении качественных показателей процесса увеличивается пропорционально увеличению скорости круга.

Оптимальную скорость поперечной подачи для чернового шлифования следует устанавливать исходя из удельной производительности шлифовального круга, которая определяется экспериментально для каждой шлифовальной операции.

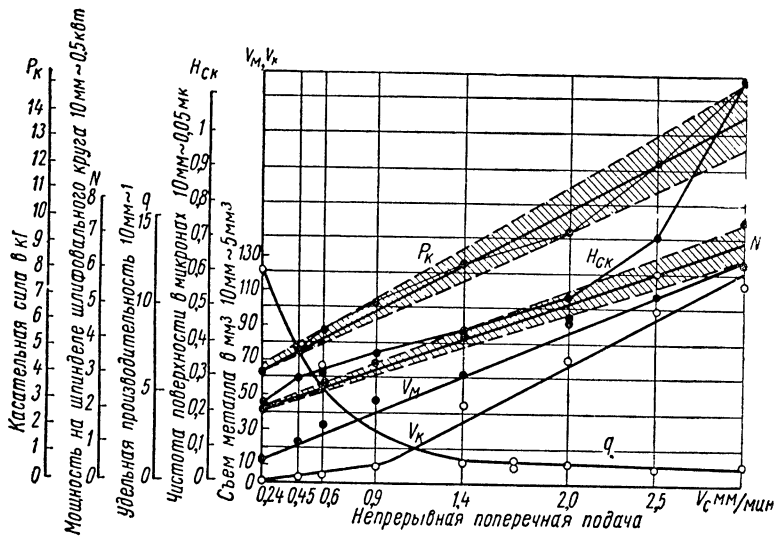
При черновой подаче удаляют около 80—85% общего припуска на шлифование. Остальные 20—15% припуска удаляют при чистовой и доводочной подаче. Доводочный режим подачи обеспечивает шлифование поверхностей закаленных деталей заданной шероховатости поверхности и стабильной точности размеров и формы без ожогов.

На фиг. 6 приведены экспериментальные данные влияния непрерывной поперечной подачи на процесс шлифования желобов внутренних колец без доводки кругами на вулканитовой связке при скорости круга $v_к = 50$ *м/сек*, скорости детали $v_д = 500$ *м/мин* и $s = 34$ двойных качаний в минуту.

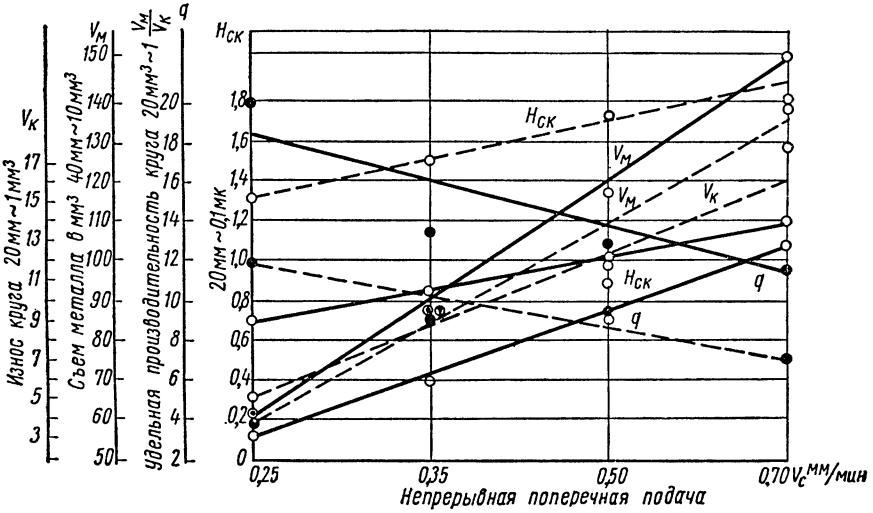
Экспериментально и в цеховых условиях установлено, что черновое шлифование желобов можно производить при поперечной подаче суппорта от 1,00 до 2,5 *мм/мин* с переходом на чистовую 0,10—0,20 *мм/мин*. При этом съем металла, износ круга, мощность и усилие растут пропорционально увеличению поперечной подачи. Качественные показатели по ТУ вполне обеспечиваются чистовой поперечной подачей 0,10—0,20 *мм/мин*.

На фиг. 7 приведены экспериментальные данные влияния поперечной подачи на процесс шлифования керамическим кругом ЭБ80СМ2К дорожек качения внутренних колец роликоподшипников методом врезания при двух скоростях круга: $v_к = 59$ *м/сек* и $v''_к = 33$ *м/сек* и скорости детали $v_д = 50$ *м/мин*.

Экспериментально установлена возможность и целесообразность увеличения поперечной подачи пропорционально увеличению скорости круга при улучшении качественных показателей процесса.



Фиг. 6. Влияние непрерывной поперечной подачи на процесс шлифования желобов внутренних колец шарикоподшипников кругами на вулканитовой связке: $V_м$ — средний объем металла, удаляемого в секунду, в *мм³/сек*; $V_к$ — средний объем круга, израсходованного в секунду, в *мм³/сек*; q — удельная производительность круга; $N_в$ — полезная мощность на валу круга в *квт*; $P_к$ — касательная сила шлифования в *кГ*; $H_{с.к}$ — шероховатость поверхности в *мк*.



Фиг. 7. Влияние скорости круга и непрерывной поперечной подачи на процесс шлифования дорожек качения внутренних колец роликоподшипников кругами на керамической связке: $V_м$ — средний объем металла, удаляемого в секунду, в *мм³/сек*; $V_к$ — средний объем круга, израсходованного в секунду, в *мм³/сек*; q — удельная производительность круга; $H_{с.к}$ — шероховатость поверхности в *мк*.

Сплошные линии при $v_к$ =59 *м/сек*. Штриховые — при $v_к$=33 *м/сек*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕТАЛИ НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ

Скорость шлифуемой детали, при прочих равных условиях, оказывает влияние на тепловой эффект при шлифовании. Любая точка шлифуемой поверхности детали находится в зоне высоких температур на длине дуги контакта шлифуемой детали с кругом и время контакта обратно пропорционально скорости детали (числу оборотов):

$$\tau = 0{,}06\frac{l}{v_д} \text{ сек.},$$

где l — длина дуги контакта в *мм*; $v_д$ — скорость шлифуемой детали в *м/мин*.

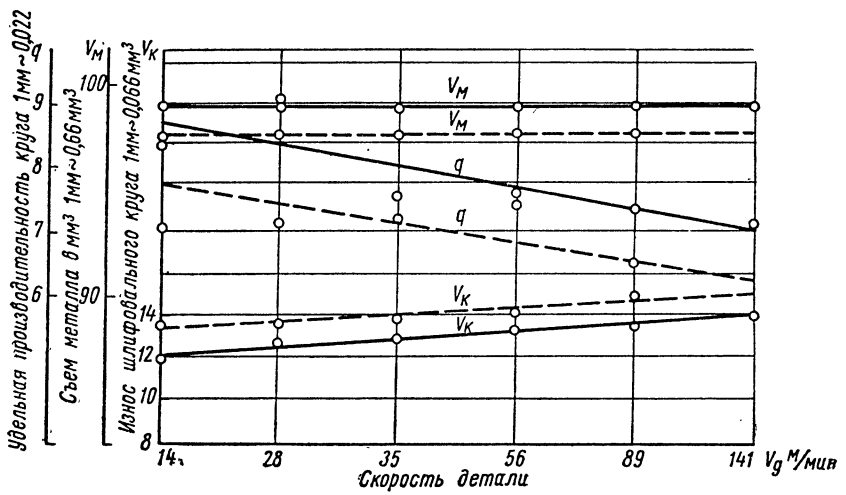
Если действительная непрерывная поперечная подача остается постоянной, то при увеличении скорости детали толщина удаляемого слоя металла за один оборот детали уменьшается и равна

$$\Delta t = \frac{t_д}{n_д} \text{ мм/об}$$

где $t_д$ — действительная толщина удаляемого слоя металла в *мм/об*; $n_д$ — действительное число оборотов детали в об/мин.

При увеличении скорости детали каждая точка шлифуемой поверхности быстрее уходит из зоны теплообразования в воздух и интенсивнее охлаждается. Действие теплового эффекта при этом снижается и вероятность ожогов уменьшается.

Увеличение скорости детали не влияет на увеличение съема металла, если это не связано с увеличением поперечной подачи, но при этом наблюдается некоторое уменьшение шероховатости поверхности и небольшое увеличение износа круга. Положительное влияние увеличения скорости детали на качество шлифованной поверхности должно быть использовано при шлифовании деталей подшипников с экспериментальной проверкой оптимального значения.



Фиг. 8. Влияние скорости шлифуемой детали на процесс шлифования: $V_м$ — средний объем металла, удаляемого в секунду, в *мм³/сек*; $V_м$ — средний объем круга, израсходованного в секунду в *мм³/сек*; q — удельная производительность круга.

Сплошной линией показана скорость $v'_к = 59$ *м/сек*;

штриховой линией показана скорость $v''_к = 33$ *м/сек*.

На фиг. 8 приведены экспериментальные данные влияния скорости детали при шлифовании дорожек качения внутренних колец конических подшипников шлифовальным кругом марки ЭБ80СМ2К при следующем режиме: $v'_к = 58$ *м/сек*; $v_к = 33$ *м/сек*; $v'_д = 14$—141 *м/мин*; $t = 0{,}5$ *мм/мин*.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ

Скорость продольной подачи не оказывает существенного влияния на процесс шлифования и является полезной в целях выравнивания износа рабочей поверхности шлифовального круга. Экспериментально установлено, что при увеличении скорости продольной подачи, если это не связано с увеличением поперечной подачи, не увеличивается съем металла, и все другие факторы остаются неизменными, за исключением колебаний мощности за один двойной ход стола и шероховатости поверхности. При увеличении продольной подачи шероховатость шлифовальной поверхности иногда может ухудшаться. Это связано с увеличением сил инерции движущихся возвратно-поступательных масс. Рекомендуется устанавливать скорость продольной подачи в пределах 5—6 *м/мин* и в случае усиления вибраций системы изменять ее в небольших пределах.

ВЛИЯНИЕ ПРИПУСКА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ

Экспериментально установлено, что при увеличении припуска растет время шлифования и сила шлифования и соответственно увеличивается потребляемая мощность на валу круга. В момент приложения радиальной силы возникают упругие деформации технологической системы, которые в начале шлифования снижают эффективность съема металла. Затем съем металла постепенно увеличивается и в некоторый момент достигает величины съема металла, по толщине равного теоретической поперечной подаче. Если такое соответствие будет стабильно сохраняться, то круг работает с полным самозатачиванием. Такое соответствие наблюдается на операции шлифования желобов кругами на вулканитовой связке с качанием детали или круга.

Шлифование поверхностей деталей подшипников кругами на керамической связке происходит с частичным самозатачиванием. С течением времени при шлифовании нарастает затупление абразивных зерен и налипают частицы металла, которые постепенно «засаливают» рабочую поверхность круга. Вследствие этого увеличивается сила шлифования с признаками увеличения вибраций. В этом случае целесообразно применять более мягкие круги с большей самозатачиваемостью.

Очевидно, чем меньше припуски на шлифование, тем меньше затраты основного технологического времени и тем больше производительность шлифовальных операций. Поэтому всегда нужно стремиться снизить припуски на шлифовальные операции, так как это есть резерв качества продукции и производительности.

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ КРУГИ

Абразивные зерна. В шлифовальных кругах, сегментах, брусках и абразивных лентах режущим элементом является зерно, как правило, из искусственного абразивного материала высокой твердости. К искусственным абразивам, применяемым в кругах, относятся: электрокорунды, карборунды и др. В некоторых случаях в шлифовальных кругах применяют алмаз и корунд.

Слово абразив происходит от латинского слова «abrasio» и означает «сглаживание». Основными характеристиками абразивных зерен служат: 1) химический состав, 2) строение и форма, 3) твердость, 4) жаростойкость, 5) дисперсность и 6) вязкость. Наиболее важные характеристики — форма зерен и твердость. Твердость зерен приведена в табл. 2.

2. Твердость абразивных зерен в *кГ/мм*²

Наименование зерен	Твердость
Кварц	1120
Электрокорунд	1800—2600
Карбид кремния	2800—3300
Карбид бора	3700—4900
Алмаз	10 000

Характеристики абразивных зерен, применяющихся в шлифовальных кругах, с указанием области применения приведены в табл. 3.

Зернистость. Зерна абразивного материала дробятся и классифицируются по ГОСТ 3647-59 по крупности, нормам зернового состава и методам испытаний зернового состава. Классификация зернистости по крупности основной фракции приведена в табл. 4.

Связка. При изготовлении шлифовальных кругов, сегментов и брусков применяют неорганические и органические связки. Характеристики связок приведены в табл. 5.

3. Характеристики абразивных зерен

Наименование абразивного зерна	Обозначение	Характеристика зерна	Область применения
Карборунд зеленый	КЗ	Характерного зеленого цвета с блестящими оттенками. Содержит не менее 97—98,5% карбида кремния SiC. Кристаллы карборунда имеют вид правильных пластинок гексональной формы или игольчатого строения. Зерна карборунда имеют очень острые ребра и гладкие грани. Карборунд обладает большой твердостью, но недостаточной вязкостью и малым сопротивлением внешним скалывающим нагрузкам	Зерна карборунда легко проникают в глубь металла, производя работу скалывания. Шлифование твердых сплавов и доводка режущих инструментов
Карборунд черный	КЧ	Черного и темно-синего цвета. Содержит 96—97% карбида кремния — SiC. Он менее твердый, но более прочный, чем КЗ	Шлифование белого и серого чугуна, бронзы и меди, латуни и алюминия и неметаллических материалов (мрамора, форфора, эбонита и др.)
Электрокорунд белый	ЭБ	Белого, серовато-белого и светло-розового цвета. Содержит от 97,5 до 99,0% кристаллической окиси алюминия Al_2O_3. По твердости уступает карборунду, зерна его менее остры, шероховаты, отличается большой вязкостью	Скоростное, получистовое и чистовое шлифование закаленных инструментальных сталей и их заменителей, стали ШХ15 и им подобных
Электрокорунд нормальный	Э	От бело-коричневого до темно-коричневого и от розового до темно-красного цвета. Содержит не менее 91% кристаллической окиси алюминия Al_2O_3. Зерна его имеют такую же форму, как и ЭБ.	Скоростное шлифование углеродистых сталей, закаленных и незакаленных легированных сталей (кроме быстрорежущих), ковкого чугуна, твердой бронзы
Монокорунд	М	Монокорунд, разновидность электрокорунда выпускается двух сортов: М97 и М98; цифровой знак соответствует содержанию кристаллической окиси алюминия — Al_2O_3. В шихту вводится нитрит (сернистое железо) вследствие чего выплавленный продукт разлагается на зерна под действием теплой воды. Зерна имеют однородное кристаллическое строение с большим количеством граней и выступов и отсутствием остаточных напряжений. Монокорунд обладает большой удельной производительностью	Скоростное шлифование закаленных инструментальных сталей и их заменителей, жаропрочных сталей, стали ШХ15 и им подобных
Корунд	Е	Корунд—естественный минерал, сорт Семиз-Бугу содержит до 95% кристаллической окиси алюминия Al_2O_3, имеет кристаллическую структуру, неоднороден при низкой твердости	Шлифовка шариков в порошках и микропорошках для шкурок и паст
Наждак	Н	Естественный минерал черного и черно-серого цвета из зерен корунда в тесной связи с другими минералами. Корунда содержит от 12 до 30%.	В виде порошка для паст и шкурок
Алмаз	А	Естественный минерал; являющийся одной из модификаций углерода кристаллического строения в виде зерен, имеющих форму овала, шара, граненых с притупленными ребрами Алмаз имеет самую высокую твердость	Для правки шлифовальных кругов, в шлифовальных кругах для доводки твердых сплавов и твердых легированных сталей, а также в пастах для полирования и доводки твердых сплавов
Карбид бора	В	B_4C — химическое соединение бора с углеродом. При дроблении получаются зерна ромбоэдрической формы с острыми кромками, черного и дымчатого цвета. B_4C обладает высокой твердостью	Только в виде порошков в пастах для доводки твердых сплавов, жаростойких материалов и им подобных

4. Классификация зернистости абразивных зерен по крупности основной фракции

Обозначение зернистости (номера)	Основная фракция			
	проходящая через сито с сеткой		остающаяся на сите с сеткой	
	№ сетки	Номинальный размер стороны ячейки в свету *мк*	№ сетки	Номинальный размер стороны ячейки в свету в *мк*
200	2,5	2500	2	2000
160	2	2000	1,6	1600
125	1,6	1600	1,25	1250
100	1,25	1250	1	1000
80	1	1000	0,8	800
63	0,8	800	0,63	630
50	0,63	630	0,5	500
40	0,5	500	0,4	400
32	0,4	400	0,315	315
25	0,315	315	0,25	250
20	0,25	250	0,2	200
16	0,2	200	0,16	160
12	0,16	160	0,125	125
10	0,125	125	0,1	100
8	0,1	100	0,8	80
6	0,08	80	0,063	63
5	0,63	63	0,05	50
4	0,05	50	0,04	40
3	0,04	40	—	28

4, а. Классификация зернистости микропорошков

Обозначение зернистости (номера)	М40	М28	М20	М14	М10	М7	М5
Пределы размеров зерен основной фракции в *мк*	40—28	28—20	20—14	14—10	10—7	7—5	5—3

5. Связки и их характеристики

Наименование	Обозначение	Характеристика	Область применения
Керамическая	К	Керамические материалы, имеющие низкую теплопроводность и высокую огнеупорность. Керамическая связка водоупорна и химически стойкая. Она дает возможность изготовлять круги с широким диапазоном твердостей и пористости, но имеет значительную хрупкость	Круги (кроме тонких кругов для разрезки), сегменты и бруски различной зернистости и размеров. Керамическая связка имеет поэтому очень широкое распространение для всех шлифуемых материалов
Бакелитовая	Б	Искусственные смолы, полученные из фенола и формалина. При определенных температурных условиях происходит полимеризация и переход бакелита в твердое состояние, при котором абразивные зерна связываются монолитно с некоторой упругой эластичностью. Бакелитовая связка имеет меньшую теплостойкость, чем керамическая, поэтому она способствует меньшему нагреву шлифуемых деталей и обеспечивает более чистую поверхность. Прочность кругов на бакелитовой связке выше, чем на керамической, но она ограниченно устойчива к щелочным добавкам в охлаждающей жидкости	Круги для шлифования торцом круга, отрезных и прорезных работ, заготовки инструментов, отделочных операций и резьбошлифования и других чистовых шлифовальных операций при высоких скоростях круга
Силикатная	С	Жидкое стекло. Абразивные зерна цементируются связкой. В связи с этим круги имеют меньшую твердость и ограниченные возможности форсирования температурного режима	Круги для шлифования плоскостей закаленных деталей торцом круга и заточки широких поверхностей ножей, когда не допускается нагрев деталей

Продолжение табл. 5

Наименование	Обозначение	Характеристика	Область применения
Вулканитовая	В	Синтетический каучук с добавкой серы и других компонентов. Абразивные зерна цементируются этой связкой, при этом зерен в круге по весу содержится от 80 до 86%, а связки — от 20 до 14%. Поэтому круги на вулканитовой связке являются упруго-эластичными, с малой теплостойкостью, определенной плотностью и структурно-механической прочностью. В связи с упруго-эластичными свойствами и малой теплостойкостью они имеют больший износ и меньшую удельную производительность. Твердость кругов может изменяться в значительных пределах в зависимости от содержания серы, температуры и времени вулканизации. Круги на вулканитовой связке благодаря упругой эластичности и малой теплостойкости обладают полирующим действием.	Круги для шлифования сферических поверхностей деталей (подшипников из закаленной стали ШХ15) методом качания при полном самозатачивании и методом врезания, чистового и отделочного шлифования на бесцентровых и круглошлифовальных станках, для отделочного шлифования резьб, для отрезки и разрезки металлов

Твердость. Твердость шлифовальных кругов определяется соответственно ГОСТ 3751-47 в статическом состоянии и является сравнительной качественной характеристикой. Метода определения действительной твердости круга в рабочей зоне шлифования, т. е. способности связки удерживать абразивное зерно при динамической нагрузке, определенном режиме и для определенных свойств материала шлифуемой детали, еще не найдено.

Шкала статической твердости шлифовальных кругов приведена в табл. 6.

6. Шкала твердости абразивного инструмента

Твердость инструмента	Обозначение твердости
М — мягкий	М1, М2, М3
СМ — среднемягкий	СМ1, СМ2
С — средний	С1, С2
СТ — среднетвердый	СТ1, СТ2, СТ3
Т — твердый	Т1, Т2, Т3
ВТ — весьма твердый	ВТ1, ВТ2
ЧТ — чрезвычайно твердый	ЧТ1, ЧТ2

Примечание. Цифры справа указывают на возрастание твердости.

Статическую твердость абразивных кругов определяют следующими методами:

1) глубиной лунки, образующейся в инструменте под действием струи кварцевого песка пескоструйного прибора у инструментов на керамической и бакелитовой связках с зернистостью от 10 до 90;

2) глубиной лунки, образующейся от вдавливания стального шарика в массу инструмента под действием постоянной нагрузки на приборе Роквелла у инструментов на керамической и бакелитовой связке зернистостью 100 и менее;

3) измерением числа оборотов сверла, необходимого для высверливания лунки заданной глубины при постоянной нагрузке на приборе АОТ-4 у инструментов на вулканитовой связке зернистостью 24—120.

Структура. Под структурой абразивных инструментов на керамической связке понимается соотношение между объемами зерна, связки и пор, составляющих объем массы инструмента. За основу определения структуры круга принято содержание зерна. Структура № 1 соответствует содержанию зерна в объеме 60% абразивной массы; каждый последующий номер имеет объем зерен на 2% меньше, соответственно структуре № 12 объем зерен будет равен 38%.

Структуры 1—4 называются *плотными*, структуры 5—8 — *средними* и структуры 9—12 — *открытыми*.

Форма и размеры абразивного инструмента приведены в ГОСТ 2424-52.

Технические требования на изготовление кругов и шлифовальных головок по прочности, твердости, точности размеров и формы, дисбалансу, виду и сорту абразивных зерен, внешним порокам, правилам приемки и другим показателям приведены в ГОСТ 4785-60.

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Действие смазочно-охлаждающей жидкости сводится к следующему.

1. Смазочно-охлаждающая жидкость производит смачивающее и смывающее действие на мелкие стружки обрабатываемого металла и на продукты износа абразивного инструмента.

2. Происходит охлаждение шлифуемой детали, заключающееся в поглощении интенсивно выделяющегося тепла при шлифовании за счет работы трения и работы деформирования металла.

3. Понижается внешнее трение на границах круга, шлифуемой поверхности детали и стружки (смазочное действие жидкости).

Смазочно-охлаждающая жидкость должна быть безопасна для здоровья рабочих при испарении и при непосредственном соприкосновении; быть не огнеопасной и не подвергаться химическому распаду или изменяться под действием воздуха; обладать надежными антикоррозионными свойствами, что особенно важно для деталей подшипников.

Лучшими охлаждающими свойствами обладает вода; она и должна служить основой для смазочно-охлаждающей жидкости при шлифовании. Для удовлетворения других требований вода должна содержать водные растворы антикоррозионных и моющих добавок в различных оптимальных соотношениях: триэтаноламин, нитрит натрия, тринатрийфосфат, олеиновое или стеариновое мыло, контакт Петрова, смачиватели типа ОП и др.

Кальцинированная сода разъедает краску и дает значительный налет на частях станков; кроме того, она является дефицитным материалом, поэтому ее необходимо заменять добавками в следующих вариантах:

1. Триэтаноламин 5—7 *Г/л*; нитрит натрия 2,5 *Г/л*; ОП-7 (или ОП-10) 1,0 *Г/л*;

2. Триэтаноламин 8,0 *Г/л*; нитрит натрия 2,5 *Г/л*; олеиновое, стеариновое или арахиновое мыло 1,0 *Г/л*.

3. Эмульсия.

Нитрит натрия — пассивирующее средство и надежно предохраняет металл от коррозии. Триэтаноламин является активной и антикоррозионной добавкой и при высыхании раствора оставляет масляную прозрачную пленку.

Добавки типа ОП активны, обладают способностью быстро смачивать и отделять одно вещество от другого.

Арахиновое мыло, так же как и олеиновое, — высоко активная добавка, но стоимость арахиновой кислоты значительно меньше.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАЗЫ И ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ

Кольца и тела качения в подшипниках имеют правильную геометрическую форму. Отклонения в размерах и искажения формы поверхностей допускаются небольшие и точно регламентируются. Рабочим чертежом и ТУ устанавливаются требования к каждой поверхности детали в зависимости от классов точности подшипников. Поверхности деталей подшипников можно классифицировать по важности выполняемых ими функций в работающем подшипнике.

Основные поверхности деталей выполняют два вида функций.

1. Функцию, определяющую главную ориентацию данной детали относительно другой детали в машине. Такая поверхность называется *основной служебной базовой поверхностью.*

2. Функцию главной работы данной детали в машине. Такая поверхность называется *главной рабочей поверхностью детали.*

Между основной служебной базой и главной рабочей поверхностью всегда существуют определенные строго регламентированные взаимосвязи.

Кольца и тела качения, кроме основных, имеют вспомогательные поверхности, которые выполняют вспомогательные функции:

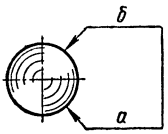
1. Функцию, определяющую вспомогательную ориентацию детали в машине. Такая поверхность называется *вспомогательной служебной базовой поверхностью.*

2. Функцию вспомогательной работы детали в машине. Такая поверхность называется *вспомогательной рабочей поверхностью.*

Вспомогательные поверхности тоже имеют регламентированные взаимосвязи с основными поверхностями детали.

Все остальные поверхности называются свободными. Они являются завершающими оформление конструктивной формы деталей.

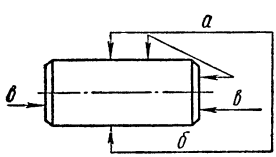
Исключение составляют сферические фаски наружных и внутренних поверхностей колец, имеющие регламентированные размеры, так как они не должны ограничивать положения подшипника качения при монтаже в узле машины.



Фиг. 9. Назначение и взаимосвязи поверхности шариков.

Шарики имеют одну единственную шаровую поверхность *а*, *б*, которая оформляет деталь и выполняет все функции при работе этой детали в подшипнике: основной служебной базовой и главной рабочей поверхностью (фиг. 9).

Цилиндрические ролики (фиг. 10) имеют цилиндрическую поверхность *а*, *б*, выполняющую две функции при работе роликов в подшипнике: основной служебной базовой и главной рабочей поверхности. Торцовые плоские поверхности *в* выполняют ограничительные функции и являются вспомогательными базовыми поверхностями. Между главной рабочей



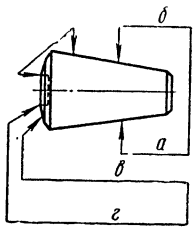
Фиг. 10. Назначение и взаимосвязи поверхностей цилиндрических роликов.

и вспомогательными поверхностями существуют регламентированные взаимосвязи по перпендикулярности.

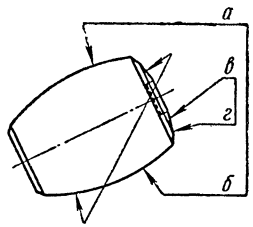
Конические и сферические ролики (фиг. 11 и фиг. 12) имеют развитую коническую или сферическую поверхность *а*, *б*, которые выполняют две функции при работе роликов в подшипнике. Они являются одновременно основными служебными базовыми и главными рабочими поверхностями. Поверхность большого торца *в*, *г* выполняет две вспомогательных функции при работе ролика в подшипнике. Она является вспомогательной служебной базовой и вспомогательной рабочей поверхностью.

Главные рабочие поверхности имеют регламентированные взаимосвязи с поверхностью большого торца по биению.

Назначение и взаимосвязи поверхностей других видов тел качения: длинные цилиндрические ролики, иголки и витые ролики аналогичны указанным, так как



Фиг. 11. Назначение и взаимосвязи поверхностей конических роликов.

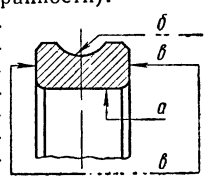


Фиг. 12. Назначение и взаимосвязи поверхностей сферических роликов.

они выполняют те же функции в соответствующих типах подшипников.

Главная рабочая поверхность тел качения должна выполняться с более высокой точностью, что достигается при обработке с последующей сортировкой по овальности и с большими ограничениями по волнистости (гранности).

Кроме этого, главная рабочая поверхность тел качения должна обладать высокой контактной прочностью и экономически оправданной шероховатостью поверхности.



Фиг. 13. Назначение и взаимосвязи поверхностей внутренних колец шариковых подшипников.

Внутренние кольца (фиг. 13 и 14) при монтаже в машине шариковых и других типов подшипников насаживаются с определенной посадкой отверстием на приводной вал.

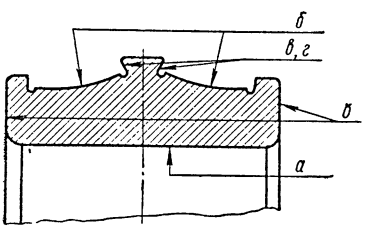
Цилиндрическая поверхность отверстия *а* внутренних колец (фиг. 13 и 14) определяет главную ориентацию внутреннего кольца относительно вала, поэтому она служит основной служебной базовой поверхностью внутреннего кольца.

Главная рабочая поверхность внутреннего кольца *б* — соответственно сферическая, цилиндрическая или коническая поверхность (дорожка качения), по которой катятся тела качения. Она выполняет главную работу внутреннего кольца в подшипнике.

Плоские торцовые поверхности внутренних колец *в* несут вспомогательные функции при установке кольца на вал, ограничивая его продольное перемещение. Поэтому они являются вспомогательными служебными базовыми поверхностями.

Наружные цилиндрические поверхности и фаски, сопрягающие внутренние и наружные цилиндрические поверхности с плоскими торцовыми поверхностями, обычно не несут служебных функций и называются свободными поверхностями, завершающими конструктивную форму внутреннего кольца.

В некоторых случаях внешние цилиндрические поверхности внутренних колец выполняют работу трения при базировании на них массивных сепараторов. В этом случае внешние цилиндрические поверхности внутренних колец служат



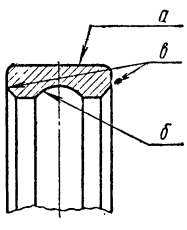
Фиг. 14. Назначение и взаимосвязи поверхностей внутренних колец двухрядных сферических подшипников.

вспомогательными рабочими поверхностями.

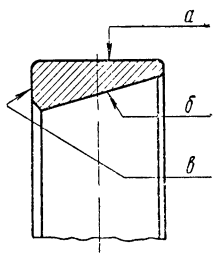
Внутренние кольца цилиндрических, конических и сферических однорядных и двухрядных роликоподшипников имеют плоские или сферические внутренние торцовые поверхности бортов *в, г,* которые несут вспомогательную работу под действием осевых сил и являются вспомогательными рабочими поверхностями.

Внутренние кольца подшипников качения в большинстве случаев имеют более сложную форму, чем наружные, поэтому количество регламентированных связей главной рабочей поверхности с основной и вспомогательными служебными базовыми поверхностями, а также со вспомогательной рабочей поверхностью по биению и соосности увеличивается.

Наружные кольца (фиг. 15 и 16) шариковых, цилиндрических, конических, сферических и других типов подшипников при монтаже в машине сопрягаются с определенной посадкой наружной цилиндрической поверхностью *а* с корпусом узла машины. Эта цилиндрическая поверхность определяет главную ориентацию наружного кольца относительно



Фиг. 15. Назначение и взаимосвязи поверхностей наружных колец шарикоподшипников.



Фиг. 16. Назначение и взаимосвязи поверхностей наружных колец конических роликоподшипников.

корпуса узла машин, поэтому она является его основной служебной базовой поверхностью.

Главной рабочей поверхностью наружных колец *б* является соответственно сферическая, цилиндрическая или коническая поверхность дорожки качения, по которой катятся тела качения. Она выполняет главную работу наружного кольца в подшипнике.

Плоские торцовые поверхности *в* наружного кольца несут вспомогательные функции при установке подшипника в корпус узла машины, ограничивая его положение. Поэтому они служат вспомогательными базовыми поверхностями.

Внешние торцовые плоские поверхности упорных и радиально-упорных наружных и внутренних шариковых колец и широкие торцовые поверхности наружных и внутренних колец конических роликоподшипников воспринимают осевые нагрузки, поэтому они являются одновременно вспомогательными служебными базовыми и вспомогательными рабочими поверхностями.

Внутренние цилиндрические поверхности и фаски, сопрягающие наружные и внутренние цилиндрические поверхности с плоскими торцовыми поверхностями, как правило, не несут служебных функций и называются свободными поверхностями, завершающими конструктивные формы наружного кольца.

В некоторых случаях внутренние цилиндрические поверхности наружных колец несут работу трения при базировании на них массивных сепараторов и

являются вспомогательными рабочими поверхностями.

При разработке и выполнении технологического процесса шлифовальных операций должен быть удовлетворен принцип подобия и совмещения баз. Это дает возможность технологу более экономично и быстро обеспечить выполнение ТУ, регламентирующие служебные взаимосвязи поверхностей деталей подшипников.

Чтобы удовлетворить принцип совмещения баз, необходимо строить технологический процесс шлифовальной обработки деталей подшипников так, чтобы сначала были обработаны вспомогательные и основные служебные базовые поверхности, после этого провести обработку главной и вспомогательных рабочих поверхностей детали. Руководствуясь этими принципами, разрабатывают подробный технологический процесс высокой производительности при максимальной автоматизации операций.

Особенно ярким примером полного и непрерывного совмещения основной служебной, технологической и контрольной базовой поверхностей является бесцентровая механическая обработка главной рабочей поверхности шариков, которые ограничены одной и единственной шаровой поверхностью.

Для других тел качения типа роликов, у которых главная рабочая поверхность совпадает с основной служебной базовой поверхностью, принцип совмещения основной служебной, технологической и контрольной баз удовлетворяется автоматически при бесцентровом шлифовании.

ПРОЦЕССЫ ШЛИФОВАНИЯ И ДОВОДКИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ

Шлифованием и доводкой завершается технологический процесс производства колец подшипников. Шлифование поверхностей колец классов Н, П, В и А производится раздельно. Шлифование колец класса С производят как раздельно, так и с совмещением операций.

В подшипниковой промышленности применяют технологические процессы шлифования колец в один и два цикла с патронным и бесцентровым зажимом обрабатываемого изделия.

Кольца шариковых подшипников нормального класса точности в большинстве своем шлифуют в один цикл с применением патронного зажима со следующей последовательностью операций:

А. Наружное кольцо.

а) шлифование торцов;

б) бесцентровое предварительное шлифование наружной поверхности;

в) бесцентровое окончательное шлифование наружной поверхности;

г) шлифование поверхности качения;

д) доводка поверхности качения.

Б. Внутреннее кольцо.

а) шлифование торцов;

б) бесцентровое шлифование наружной поверхности бортиков;

в) шлифование отверстия;

г) шлифование поверхности качения;

д) доводка поверхности качения.

Технологический процесс обработки колец роликовых подшипников отличается от процесса обработки колец шариковых подшипников следующим:

а) шлифование поверхности качения наружных и внутренних колец производят в две операции;

б) у внутренних колец после операции шлифования поверхности качения производят шлифование торцовых поверхностей бортика.

Зажим колец на операции шлифования отверстия производится во втулке, а на операциях шлифования поверхности качения — в мембранном патроне.

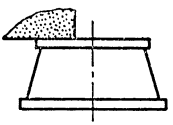
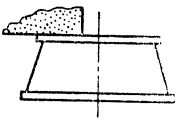
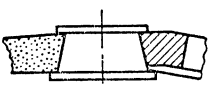
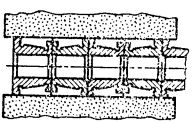
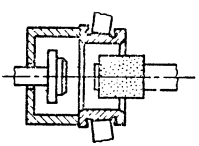
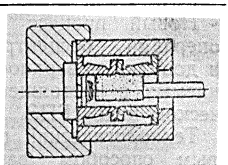
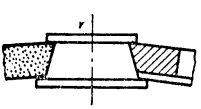
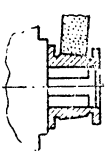
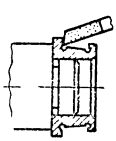
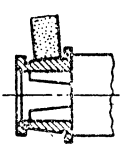
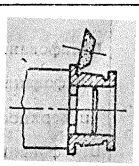
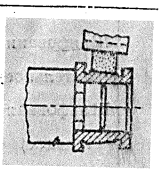
В автоматическом цехе 1ГПЗ для обработки колец шариковых и роликовых подшипников применен бесцентровый способ зажима колец на всех операциях, кроме операций шлифования торцов и сферы борта.

Количество операций при шлифовании наружных и внутренних колец шариковых подшипников и наружных колец роликовых подшипников в автоматическом цехе такое же, как и в цехах основного производства, где применяется патронный зажим.

Технологический процесс шлифования внутренних колец конических роликоподшипников в автоматическом цехе 1ГПЗ, по сравнению с технологическим процессом основного производства, отличается как способом зажима, так и последовательностью и количеством операций.

Технологический процесс автоматического цеха и основного производства показан на схеме.

Схема технологических процессов обработки внутреннего кольца роликоподшипника

Автоматическая линия			Поточное производство		
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки
1	Шлифование торцов		1	Шлифование торцов	
2	Бесцентровое (предварительное) шлифование роликовой дорожки		2	Бесцентровое шлифование опорных бортов	
3	Бесцентровое шлифование отверстия		3	Шлифование отверстия в патроне	
4	Бесцентровое (окончательное) шлифование роликовой дорожки		4	Предварительное шлифование роликовой дорожки в мембранном патроне	
5	Шлифование опорного борта		5	Окончательное шлифование роликовой дорожки в мембранном патроне	
			6	Шлифование опорного борта	
			7	Доводка роликовой дорожки	

В автоматическом цехе достигнуто сокращение двух операций (шлифования поверхности борта и доводки роликовой дорожки). Операция тонкого шлифования роликовой дорожки в автоматическом цехе совмещает операции окончательного шлифования и доводки роликовой дорожки, применяемых в основном производстве.

В настоящее время разрабатывается технологический процесс обработки внутренних колец шариковых подшипников, в котором шлифование будет производиться в следующей последовательности:

а) шлифование торцов;

б) бесцентровое шлифование желоба;

в) бесцентровое шлифование отверстия (с базированием по желобу);

г) доводка желоба.

Новый процесс позволит сократить операции бесцентрового шлифования и доводки поверхности бортиков, применяемых в настоящее время в автоматическом цехе 1ГПЗ.

Технологический процесс с бесцентровым способом зажима, применяемый в автоматическом цехе 1ГПЗ, имеет следующие преимущества.

1. Значительно повышает точность обработки колец по разностенности и непараллельности желоба к торцу.

2. Облегчает автоматизацию загрузки деталей.

3. Сокращает количество операций при обработке внутренних колец.

К недостаткам бесцентрового зажима следует отнести более низкую производительность операции шлифования отверстия колец с размером до 70 *мм* вследствие невозможности применить многоместное шлифование.

Шлифование колец класса Н в отдельных случаях производят в два цикла.

При обработке в два цикла сначала шлифуют предварительно, а затем окончательно все поверхности, за исключением торцовых.

Торцовые поверхности можно обрабатывать в один цикл.

Последовательность операций при шлифовании наружного кольца роликоподшипника в один и два цикла приведена в табл. 7.

Обработку колец нормального класса точности в два цикла следует производить тогда, когда возникает относительно бо́льшая овальность поверхности *1* при шлифовании поверхности 2 (фиг. 17) или наоборот. Появление овальности является результатом перераспределения внутренних напряжений при эксцентричном снятии слоев металла, имеющих внутренние напряжения, вследствие наличия овала и разностенности у колец перед поступлением их на операцию шлифования. Величина этой овальности, возникающая вследствие эксцентрично-

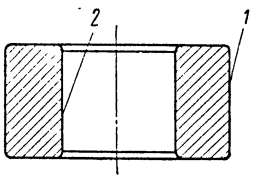
7. Шлифование наружного кольца роликоподшипника

Обработка в один цикл		Обработка в два цикла	
№ операции	Наименование операции	№ операции	Наименование операции
			I цикл
1	Шлифование торцов	1	Шлифование торцов
2	Шлифование наружной цилиндрической поверхности (предварительное)	2	Шлифование наружной цилиндрической поверхности (предварительное)
3	Шлифование наружной цилиндрической поверхности (окончательное)	3	Шлифование дорожки качения (предварительное)
			II цикл
4	Шлифование дорожки качения (предварительное)	4	Шлифование наружной цилиндрической поверхности (окончательное)
5	Шлифование дорожки качения (окончательное)	5	Шлифование дорожки качения (окончательное)

го снятия слоев металла при шлифовании, может быть приближенно определена из следующей формулы:

$$\Delta = K \frac{12\,\sigma_t\,\Delta_a\,r^3}{Eh^3},$$

где Δ — величина овальности поверхности, не подвергавшейся шлифованию; K — коэффициент, характеризующий неравномерность распределения припуска; σ_t — тангенциальная составляющая нормальных внутренних напряжений первого рода в закаленном слое; Δ_a — величина овала колец до шлифования; r — радиус кольца; h — толщина кольца; E — модуль упругости.



Фиг. 17. Кольцо подшипника.

Для практических случаев коэффициент K может быть принят 0,03—0,04.

σ_t — для закаленной подшипниковой стали находится в пределах 3—5 *кГ/мм*^{2}.

В два цикла следует обрабатывать кольца, у которых $\frac{r}{h} > 7$.

Технологический процесс шлифования колец класса П такой же, как и класса Н.

Технологический процесс колец классов В, А и С отличается от технологического процесса класса Н: 1) применением двух циклов обработки для всех типов и размеров колец вне зависимости от их жесткости; 2) шлифованием всех поверхностей колец в две операции.

Промежуточный отпуск, когда он предусмотрен техническими условиями, для всех колец, кроме тонкостенных наружных, следует производить после всех шлифовальных операций. Промежуточный отпуск тонкостенных наружных колец следует производить после первого цикла обработки.

Припуски

Величина припуска определяется точностью изготовления колец на токарной обработке и деформацией их в процессе термообработки.

В табл. 8 приведены припуски на все шлифуемые поверхности наружных и внутренних колец подшипников нормального класса точности и нормальной жесткости исходя из размеров, установленных по чертежам. Для тонкостенных колец (более легкой серии, чем 200), а также для колец более высоких классов точности величина припуска повышается на 0,05—0,1 *мм*. В табл. 8, как это принято на подшипниковых заводах, припуски указаны на диаметр. Припуски по высоте колец назначают в зависимости от диаметра наружной поверхности, а по остальным поверхностям — в зависимости и от их диаметра.

Режимы шлифования колец подшипников нормального класса точности

а) Шлифование торцов колец. Операция шлифования плоских торцовых поверхностей наружных и внутренних колец в основном производится на двухшпиндельных плоскошлифовальных станках 3772-Б и Бланшард 16-2А с вертикальным расположением шпинделей. В табл. 9 приведены режимы шлифования колец на указанных станках.

Машинное время на один проход определяют по формуле

$$T_м = \frac{DK}{si} \text{ мин};$$

$$s = \pi\,(D_c - iD)n \text{ мм/мин},$$

где D—наружный диаметр кольца в *мм*; s — круговая подача стола в *мм/мин*; i — число рядов колец; n — число оборотов стола в мин.; K — коэффициент, учитывающий разрыв между кольцами при установке их на стол станка; D_c — наружный диаметр стола в *мм*.

В последнее время получили распространение двухшпиндельные плоскошлифовальные станки с горизонтальным расположением шпинделей для одновременного шлифования обоих торцов колец. Производительность этих станков

8. Припуски на шлифование наружных и внутренних колец шарико- и роликоподшипников в *мм*

Диапазон диаметров		По высоте наружных и внутренних колец шарико- и роликоподшипников		По наружной поверхности наружных колец шарико- и роликоподшипников		По посадочному отверстию внутренних колец шарико- и роликоподшипников		По желобу				По роликовой дорожке колец конических и цилиндрических роликоподшипников				По диаметру бортов внутренних колец шарико- и роликоподшипников		По толщине бортов наружных колец шарико- и роликоподшипников		По высоте бортов наружных и внутренних колец роликоподшипников	
								наружных колец		внутренних колец		наружных		внутренних							
От	До	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
—	15	0,2	0,35	0,2	0,35	0,2	0,35	—	—	0,2	0,35	—	—	—	—	0,15	0,3	—	—	—	—
15	30	0,2	0,35	0,2	0,35	0,25	0,4	0,25	0,4	0,25	0,4	0,25	0,4	0,25	0,4	0,2	0,35	0,2	0,35	0,15	0,3
30	50	0,2	0,35	0,2	0,35	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,45	0,35	0,55	0,3	0,5	0,2	0,35	0,25	0,45	0,15	0,3
50	75	0,25	0,45	0,25	0,4	0,35	0,55	0,35	0,55	0,35	0,55	0,4	0,6	0,3	0,55	0,25	0,45	0,3	0,5	0,2	0,35
75	100	0,25	0,45	0,3	0,45	0,45	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,45	0,65	0,4	0,6	0,3	0,5	0,35	0,55	0,2	0,35
100	125	0,3	0,5	0,35	0,55	0,45	0,65	0,45	0,65	0,45	0,65	0,5	0,7	0,45	0,65	0,35	0,55	0,4	0,6	0,3	0,5
125	150	0,3	0,5	0,35	0,55	0,55	0,75	0,5	0,7	0,5	0,7	0,55	0,75	0,5	0,7	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5
150	200	0,4	0,6	0,45	0,55	—	—	0,6	0,8	—	—	0,65	0,85	0,55	0,75	0,5	0,7	—	—	0,4	0,6
200	250	0,5	0,7	0,55	0,75		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,7

9. Режимы шлифования торцов колец на двухшпиндельных станках МСЗ-3772Б и Бланшард 16-2А

Наружный диаметр в *мм*	Число рядов	Наружные кольца						Внутренние кольца				Коэффициент K	Скорость круга в *м/сек*	Характеристика круга		Связка
		I проход		II проход		III проход		I проход		II проход				Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	
		Число оборотов стола в мин	Глубина слоя, снимаемого вторым кругом в *мм*	Число оборотов стола в мин.	Глубина слоя, снимаемого вторым кругом в *мм*	Число оборотов стола в мин.	Глубина слоя, снимаемого вторым кругом в *мм*	Число оборотов стола в мин	Глубина слоя, снимаемого вторым кругом в *мм*	Число оборотов стола в мин	Глубина слоя, снимаемого вторым кругом в *мм*					
50—70	2	1,2—1,3	0,05—0,07	1,2—1,3	0,03	—	—	1,2	0,05—0,07	1,2	0,03	1,25	До 35	16	CM_1—CM_2	Бакелитовая
70—170	1	1,2—1,3	0,05—0,10	1,2—1,3	0,02—0,03	—	—	1,2	0,05—0,10	1,2	0,02—0,03	1,05		16		
Свыше 170	1	1,2—1,3	0,07—0,12	1,2—1,3	0,02—0,03	1,0	0,01—0,02	—	—	—	—	1,05		16	CM_1—CM_3	

на 30—40% выше станков 3772Б и Бланшард 16-2А. В мелкосерийных цехах применяют одношпиндельные плоскошлифовальные станки с подающим столом МСЗ-371Л и Бланшард 16А, а также станки без подающего стола типа 3756. На операции шлифования торцов колец контролируют непараллельность торцов и ширину колец.

Непараллельность торцов может быть результатом биения стола, неправильной его подшлифовки и неудовлетворительного качества круга.

б) Шлифование наружной цилиндрической поверхности колец. Шлифование наружной цилиндрической поверхности наружных колец и бортов внутренних колец производится на бесцентровых станках.

Основные данные применяемых станков приведены в табл. 10.

10. Характеристика бесцентровых круглошлифовальных станков

Размеры в *мм*

Наименование параметров станка	Модели			
	3Г182	3Г185	3186	3187
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия . .	75	150	250	350
Наименьший диаметр обрабатываемого изделия . .	3	10	30	80
Диаметр шлифовального круга	500	600	750	900
Ширина шлифовального круга	150	200	200	400
Диаметр ведущего круга	300	350	450	600
Ширина ведущего круга	150	200	300	400

11. Глубина съема на диаметр и характеристика кругов при шлифовании наружных цилиндрических поверхностей колец на бесцентровых круглошлифовальных станках

Операция и тип колец	Величины съема за проход				Характеристика круга			Модель станка
	Начальный	Промежуточный	Предпоследний	Последний	Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка	
Предварительное шлифование наружных цилиндрических шариковых, конических и цилиндрических подшипников	0,15—0,20	0,1—0,15	0,08—0,09	0,05	Э40 Э40 Э40	$СМ_2$ $СМ_1$ $М_2$	Керамическая	3180 3182 3183
Чистовое шлифование наружных цилиндрических поверхностей колец подшипников	0,04—0,05	0,03	—	0,01-0,02	Э25 Э16	СТ СТ	Вулканитовая	3180 3182 3183
Шлифование диаметра борта внутренних колец . .	0,15—0,25	0,1—0,15	—	0,05-0,07	Э25 Э16	СТ СТ	«	3180 3182 3183
Шлифование наружной поверхности колец упорных подшипников	0,13—0,2	0,09—0,13	0,05	0,02-0,03	Э25 Э16	СТ СТ	«	3180 3182 3183

Величины съема металла за один проход и характеристики кругов приведены в табл. 11, а величины продольных подач для наружных и внутренних колец показаны соответственно в табл. 12 и 13.

Машинное время подсчитывают по формуле

$$T_м = \frac{H}{s_м} iK,$$

где H — высота кольца в *мм*; $S_м$ — продольная подача в *мм/мин*; i — число проходов; K — коэффициент, учитывающий скольжение.

На операции бесцентрового шлифования контролируют: размер диаметра наружной поверхности, овальность, гранность, конусность и неперпендикулярность наружной поверхности к торцу. Для обеспечения точности по овалу и гранности необходимо устанавливать нож таким образом, чтобы контакт шлифуемого кольца с кругами был выше их центров на 12—14 *мм*.

Рабочий и ведущий круги должны быть выправлены так, чтобы съем припуска производился по всей ширине круга равномерно. Для этого поверхности ведущего круга придают форму гиперболоида вращения. Рабочий круг должен быть выправлен по конусу, определяемому величиной припуска, снимаемого на данном проходе.

На автоматических линиях применяют бесцентровошлифовальные станки с шириной кругов 800 *мм*. На станках с широким кругом шлифование наружной

12. Режимы шлифования наружной цилиндрической поверхности наружных колец шариковых, конических и цилиндрических роликовых и упорных подшипников на бесцентровых круглошлифовальных станках

Диапазон обрабатываемых диаметров в *мм*	Предварительное шлифование			Чистовое шлифование			
	Число оборотов ведущего круга в *мм*	Угол наклона ведущего круга	Продольная подача в *мм/мин*	Число оборотов ведущего круга в *мм*	Угол наклона ведущего круга	Продольная подача в *мм/мин*	K
До 40	52	2° 30′ — 3° 30′	1930—2650	52	2° 15′ — 3°	1720—2280	1,1
40—50	52	2° 15′ — 3° 75′	1720—2460	52	2° 15′ — 2° 30′	1720—1930	1,1
50—60	52	2° — 2° 45′	1540—2120	52	2° — 2° 15′	1540—1720	1,1
60—70	52	1° 45′ — 2° 45′	1360—2120	52	2° — 2° 15′	1540—1720	1,15
70—80	39	1° 45′ — 2° 45′	1180—1830	39	2° — 2° 15′	1340—1480	1,15
80—100	39	1° 30′ — 2° 15′	995—1500	39	1° 45′ — 2°	1180—1340	1,15
100—110	29	1° 45′ — 2° 30′	880—1230	29	2° 15′ — 2° 30′	1120—1240	1,15
110—120	20	1° 30′ — 2° 30′	740—1230	29	2° 15′ — 2° 30′	1120—1240	1,15
120—140	29	1° 30′ — 2° 15′	740—1110	29	2° 15′ — 2° 30′	1120—1240	1,2
140—160	29	1° 15′ — 2° ′	630—1000	29	2° 15′ — 2° 30′	1120—1240	1,2
160—180	29	1° 15′ — 1° 45′	630—880	29	2° — 2° 15′	995—1120	1,2
180—215	29	1° — 1° 30′	485—740	29	1° 45′ — 2°	880—995	1,2

13. Режимы шлифования наружной цилиндрической поверхности внутренних колец шариковых конических и цилиндрических роликовых подшипников на бесцентровых круглошлифовальных станках

Диапазон обрабатываемых диаметров в *мм*	Число оборотов ведущего круга в мин.	Угол наклона ведущего круга	Продольная подача в *мм/мин*	*K*
До 30	52	2° 45′ — 3° 30′	2120—2650	1,1
30—40	52	2° 30′ — 3° 30′	1930—2650	1,1
40—50	52	2° 15′ — 3° 30′	1720—2650	1,1
50—60	52	2° — 3°	1510—2280	1,1
60—70	52	2° — 3°	1540—2280	1,15
70—90	39	2° — 2° 45′	1340—1830	1,15
90—110	39	2° — 2° 30′	1340—1700	1,15
110—130	39	2° — 2° 30′	1340—1700	1,15
130—150	29	2° 15′ — 2° 45′	1120—1370	1,2

поверхности колец осуществляется за два прохода.

в) Шлифование основной служебной базовой поверхности (отверстия). При шлифовании посадочного отверстия предъявляют высокие требования к точности его размера. На этой операции в крупносерийном и массовом производстве при обработке колец с диаметром отверстия от 8 до 150 *мм* применяют полуавтоматы или автоматы с калибровым промером. Поверхности отверстий колец больших размеров шлифуют на внутришлифовальных станках с визуальным промером. Станки оборудованы приборами конструкции инж. Мазина. Зажим колец на полуавтоматах производится во втулке, которая позволяет зажать одновременно два-четыре кольца. Кольца серии 200 одновременно шлифуют по 3—4 кольца, а кольца серий 300 и 400 — по 2—3 кольца, причем общая длина шлифования не превышает 80 *мм*.

Режимы шлифования и характеристики применяемых кругов приведены в табл. 14.

При шлифовании отверстий колец контролируют размер отверстия, конусность, овальность и неперпендикулярность отверстия торцу.

Повышенное отклонение по размеру отверстия со стороны калибра может быть следствием неудовлетворительной работы механизма калибров, разной величины фасок у шлифуемых колец и неправильного размера чистового калибра. Номинальный размер чистового калибра должен быть на 0,015 *мм* меньше номинального размера кольца. Повышенная конусность может быть результатом неправильной настройки станка и неудовлетворительного качества кругов и шпинделей.

Минимальная конусность достигается:

а) при работе кругами, ширина которых равна 0,8÷0,9 ширины шлифования:

б) при ходе стола станка, равном 1,1 ширины шлифования;

в) при разности размеров диаметров между черновым и чистовым калибрами в пределах 0,035—0,04 *мм*.

Овальность отверстия колец может быть результатом повышенного биения шпинделя изделия, недостаточной жесткости шпинделя круга и повышенной разностенности и овальности колец, поступающих на операцию шлифования.

Неперпендикулярность отверстия к торцу вызывается повышенным биением опорного фланца после его подшлифовки и увеличенной неперпендикулярностью диаметра борта к торцу (более 0,02 *мм*). Для того чтобы неперпендикулярность наружной поверхности к торцу не вызывала повышенный брак, внутренний диаметр втулки должен иметь размер, обеспечивающий зазор, превышающий суммарную неперпендикулярность установленных во втулке колец. Абразивные частицы, попадающие на торцы кольца, также вызывают увеличенную неперпендикулярность.

Для обработки посадочных отверстий колец в условиях крупносерийного производства применяют автоматы типа ЛЗ-73 Станкозавода им. Ильича с зажимом изделия во втулке, которые позволяют одновременно шлифовать два-три кольца.

На автоматических линиях шлифование колец производится на бесцентровых внутришлифовальных автоматах по одному кольцу.

Бесцентровые внутришлифовальные автоматы имеют относительно низкую производительность вследствие невозможности применения многоместного шлифования.

Возможность наиболее просто автоматизировать процесс шлифования отверстия обусловила применение бесцентровых внутришлифовальных автоматов на автоматических линиях.

Для внутришлифовальных полуавтоматов с целью превращения их в автоматы, в ЧССР разработана конструкция автооператора, показанная на фиг. 18.

Автооператор одновременно устанавливает три кольца.

Подача колец *1* в зажимную головку из магазина *2* осуществляется ходом питателя *3* по направлению стрелки *A*. Выброс обработанных колец производится через отверстие в зажимной головке подачей новых колец из магазина.

Кольца при подаче отжимают центрирующую планку *4* и ложатся на призму, образованную двумя пальцами *5*. Затем питатель *3* возвращается в исходное положение, а кольца поджимаются пружиной центрирующей планки. При этом освобождается торцовый прижим *6*, установленный на трех плоских

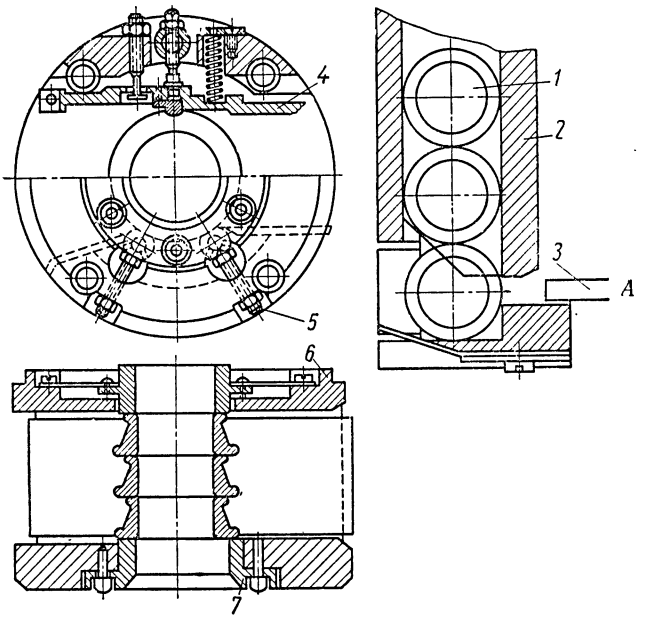
14. Режимы шлифования цилиндрической посадочной поверхности отверстий внутренних колец шариковых и роликовых подшипников

Диаметр отверстия в *мм*	Поперечная подача при предварительных проходах и длине обрабатываемого отверстия						Поперечная подача круга при чистовых проходах в *мм/мин*	Припуск на чистовое шлифование на диаметр	Скорость круга *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Число двойных ходов при предварительном шлифовании в мин.	Характеристика круга		
	До 25 *мм*		25—50 *мм*		50—80 *мм*							Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
	s в *мм/мин*	*K*	*s* в *мм/мин*	*K*	*s* в *мм/мин*	*K*								
До 20	0,55—0,50	1,4	0,45—0,35	1,4	0,35—0,30	1,4	0,10	0,04	До 50	35—50	100—120	16	C_1	Керамическая
20—30	0,5—0,48	1,4	0,45—0,4	1,4	0,4—0,35	1,3		0,04		40—70	90—120	16	C_1	
30—50	0,48—0,45	1,3	0,45—0,4	1,3	0,4—0,35	1,2		0,04		60—80	80—100	25	CM_2	
50—70			0,4—0,35	1,3	0,35—0,3	1,2		0,06		70—90	70—90	25	CM_2	
70—90			0,35—0,30	1,4	0,3—0,25	1,3		0,06		80—120	60—80	25	CM_1	
90—120			0,30—0,27	1,4	0,25—0,2	1,3		0,06		110—160	60—80	25	CM_1	
120—150			0,25—0,22	1,4	0,2—0,15	1,3	0,08	0,08		120—180	50—70	25	CM_1	

Примечание. Перед чистовым шлифованием круг выводится на правку алмазом.

пружинах, и прижимает кольца к торцу крышки *7*.

Остановка зажимного прижима *6* при съеме и установке колец в строго определенном положении осуществляется специальной электромагнитной защелкой.



Фиг. 18. Схема автооператора к внутришлифовальному полуавтомату.

г) Шлифование главных рабочих поверхностей (желобов) колец шарикоподшипников. Шлифование желобов наружных и внутренних колец нормального класса точности производят на полуавтоматах или автоматах методом качания.

Кольца высоких классов точности изготовляют как методом качания, так и методом врезания.

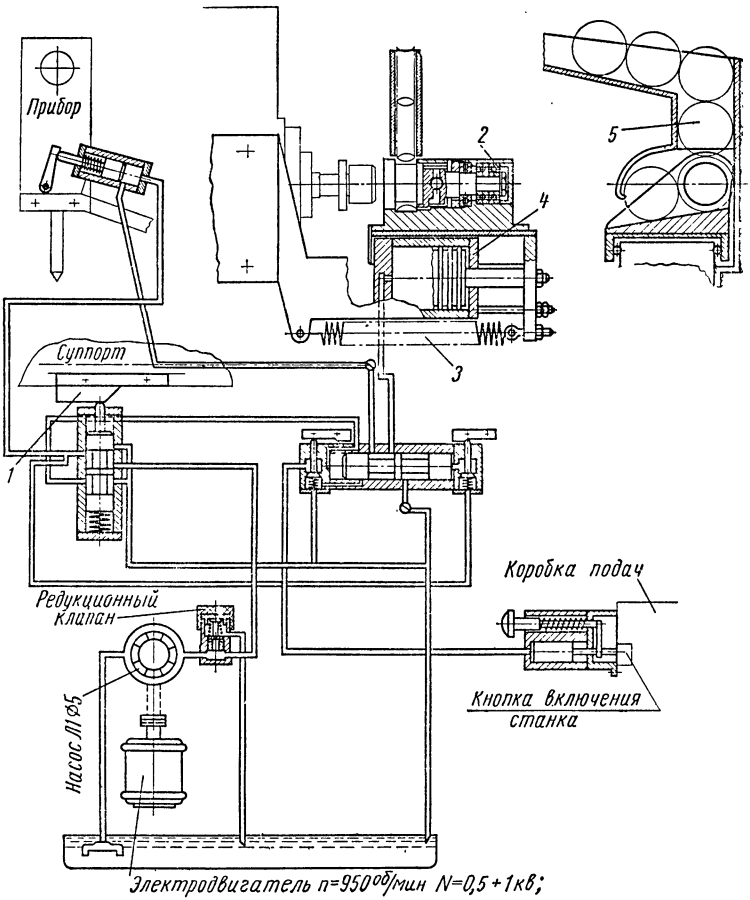
В табл. 15 приведена характеристика основных моделей желобошлифовальных полуавтоматов.

15. Характеристика желобошлифовальных полуавтоматов

Модель станка	Обрабатываемые кольца	Диапазон обрабатываемых колец в *мм*	Число оборотов шлифовального круга в мин.	Число оборотов изделия в мин.	Число двойных качаний в мин.	Максимальный угол качания в град.
ЛЗ-31	Наружные	10—40	30 000	800; 1500	50; 60; 70	40
ЛЗ-41	Внутренние	10—40	1 880	800; 1500	50; 60; 70	40
ЛЗ-8	Наружные	30—100	9000; 16000	530; 800	30; 40; 50	60
ЛЗ-26	Внутренние	30—60	1 880	250; 540	30; 40; 50	60
ЛЗ-5	Наружные	80—200	5600; 9000	200; 300	18; 30	60
ЛЗ-9	Внутренние	50—150	1 450	250; 540	30; 40; 50	55
ЛЗ-29	Наружные	150—300	2000; 3600; 4 600	150; 300	18; 30	60
ЛЗ-30	Внутренние	150—300	1 330	150; 300	18; 30	60

На подшипниковых заводах для превращения желобошлифовальных полуавтоматов в автоматы созданы автооператоры.

на оправку шпинделя изделия при движении головки автооператора *2* под действием пружин *3* влево. Обратным ходом головки, осуществляемым от гид-



Фиг. 19. Гидрокинематическая схема автооператора к полуавтомату ЛЗ-8.

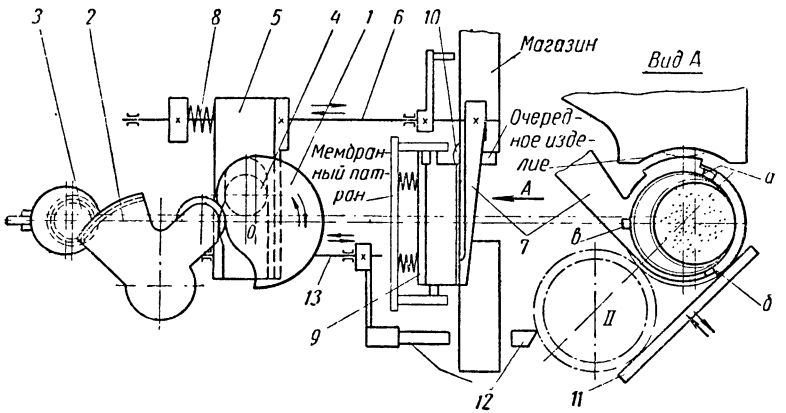
На фиг. 19 показана схема автооператора[1] к станкам ЛЗ-9 и ЛЗ-26 для шлифования желобов внутренних колец. Работает автооператор от специального гидропривода, причем цикл его работы согласовывается с циклом работы станка посредством кулачка *1*, установленного на суппорте шлифовального круга. Кольцо при обработке устанавливается

роцилиндра *4*, происходит съем обработанного кольца. Кольцо центрируется по оси оправки при его установке по ранее обработанному кольцу, удерживаемому в отводящем лотке отсекающей планкой, установленной на магазине *5*.

Применение автооператора на желобошлифовальных станках ЛЗ-9 и ЛЗ-26 позволило довести норму обслуживания до 3-х станков.

[1] Конструкция В. Я. Панкратова.

Схема автооператора[1] для шлифования желобов наружных колец к станку ЛЗ-8 показана на фиг. 20 При вращении против часовой стрелки кулачка *1* от рейки, связанной с гидроцилиндром, происходит поворот зубчатого сектора *2* и эксцентрик *3* через шестерню осуществляет разжим мембранного патрона, а через ролик *4* и водило *5* передает возвратно-поступательное движение валу *6* и сидящему на нем питателю *7*. Вал *6* связан с водилом *5* при помощи пружин *8*.



Фиг. 20. Кинематическая схема автооператора к полуавтомату ЛЗ-8.

Движением питателя *7* справа налево осуществляется установка кольца в патрон, а при обратном движении происходит вывод изделия из патрона. В патроне изделие прижимается к выталкивателю *9*. Ход выталкивателя ограничивается упором *10*.

В крайнем правом положении питателя *7* кольцо освобождается и выкатывается по планке *11* в положение *II* до упора в центрирующий нож *12*, а очередное кольцо выдается из магазина и центрируется по ранее обработанному кольцу.

Поворотом кулачка *1* по часовой стрелке питатель *7* установит кольцо в патроне и после его зажима отойдет от торца на 1—3 *мм*.

Наряду с полуавтоматами, для обработки внутренних колец с диаметром отверстия до 125 и наружных колец с наружным диаметром до 180, Станкозавод им. Ильича выпускает желобошлифовальные автоматы, оснащенные следящей подачей. На автоматах, так же как и на полуавтоматах, применен метод качания, а зажим колец осуществляется в мембранных патронах.

В автоматическом цехе 1ГПЗ для шлифования желобов внутренних колец применен метод врезания на бесцентровом автомате, обеспечивающий более высокую точность, но работающий с меньшей производительностью, чем станки с патронным зажимом.

Режимы шлифования желобов колец приведены в табл. 16 и 17.

Ширина круга должна быть равна 1,6 радиуса желоба. На операции шлифования желобов контролируют следующие параметры: овальность желоба, разностенность между желобом и отверстием, непараллельность желоба к торцу, диаметр желоба, его профиль и чистоту поверхности.

Повышенная неточность по овальности желоба, разностенности, непараллельности желоба к торцу могут быть следствием неправильной подшлифовки упоров и винтов мембранного патрона. Размер *c* (фиг. 25) должен быть в пределах 0,05—0,07 *мм* для операции чистового шлифования и 0,15—0,25 *мм* — для чернового шлифования.

Биения шпинделя изделия могут также вызвать овальность, разностенность и непараллельность желоба к торцу.

[1] Конструкция В. Я. Панкратова.

16. Режимы шлифования желобов внутренних колец шарикоподшипников

Диаметр желоба в *мм*	Автоматический цикл						Скорость круга в *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Число двойных качаний в мин.	Коэффициент *K*	Характеристика круга		
	со следящей подачей			без следящей подачи									
	Скорость поперечного суппорта при черновом цикле в *мм/мин*	Скорость поперечного суппорта при чистовом цикле в *мм/мин*	Припуск на чистовой цикл	Скорость поперечного суппорта при черновом цикле в *мм/мин*	Скорость поперечного суппорта при чистовом цикле в *мм/мин*	Выхаживание в сек.					Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
10—40	2,4—2,0	0,5	0,05	1,6—1,2	0,4	3—4		25—60	60—70	1,3		CT_1	
40—70	1,8—2,0	0,4	0,05	1,2—1,0	0,4	3—4		50—100	50—60	1,3		CT_1	
70—90	1,8—2,0	0,3	0,06	1,0—0,9	0,3	6—8	50	80—120	40—50	1,3	12	C_2	Вулканитовая
90—120	1,4—1,6	0,25	0,06	0,9—0,8	0,2	6—8		70—160	30—40	1,4		C_2	
120—150	1,0—1,2	0,2	0,08	0,8—0,7	0,2	8—10		90—160	24—32	1,4		C_1	

17. Режимы шлифования желобов наружных колец шарикоподшипников

Диаметр желоба в *мм*	Автоматический цикл						Скорость круга в *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Число двойных качаний в мин.	Коэффициент K	Характеристика круга		
	со следящей подачей			без следящей подачи									
	Скорость поперечного суппорта при черновом цикле в *мм/мин*	Скорость поперечного суппорта при чистовом цикле в *мм/мин*	Припуск на операцию чистового шлифования в *мм*	Скорость поперечного суппорта при черновом цикле в *мм/мин*	Скорость поперечного суппорта при чистовом цикле в *мм/мин*	Выхаживание в сек.					Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
10—40	2,0—2,5	0,3	0,05	1,6—1,3	—	6—8	35	30—80	60—70	1,3	12	CT_2	Вулканитовая
40—70	2,0—2,5	0,3	0,05	1,2—1,0	0,4	4—6		80—150	50—60	1,3		CT_2—CT_1	
70—90	1,8—2,0	0,3	0,06	1,0—0,8	0,4	4—6		120—180	40—50	1,5		CT_1—CT_2	
90—125	1,6—1,8	0,25	0,06	0,8—0,7	0,3	4—6	50	150—200		1,5		C_2—C_1	
125—150	1,2—1,4	0,2	0,07	0,7—0,6	0,3	6—8		125—150	30—40	1,6		C_1—CM_2	
150—200	1,0—1,2	0,2	0,7	0,6—0,5	0,3	6—8		135—250	24—36	1,6		CM_1—CM_2	

Машинное время определяется формулой

$$T_м = \left(\frac{h_1}{2t_1} + \frac{h_2}{2t_2}\right) K + t_в,$$

где h_1 и h_2 — припуск, снимаемый соответственно при черновом и чистовом циклах; t_1 и t_2 — минутная подача чернового и чистового циклов.

д) Шлифование главных рабочих поверхностей роликоподшипников. Поверхности качения наружных колец роликоподшипников шлифуются на бесцентрово-шлифовальных автоматах, внутренних колец — на станках-полуавтоматах ХСЗ-3486 с мембранными зажимами. Станки ХСЗ-3486 оснащены автосепараторами, благодаря которым они превращены в автоматы.

Общий вид и принципиальная схема такого автооператора, представлены на фиг. 21 и 22 [1].

Автооператор подключен к общей гидросистеме станка. Управление циклом его работы осуществляется от кулачков, установленных на валу шлифовальной бабки.

Кулачки *1* (фиг. 22) производят переключение крана управления автооператора *2* на подвод и отвод головки автооператора *3* таким образом, что за один задний ход бабки шлифовального круга головка автооператора совершает два движения. При подаче головки влево совершается установка кольца на патрон, а при обратном движении — съем. Центрирование кольца при установке его в мембранный патрон осуществляется по ранее обработанному кольцу, удерживаемому в отводном лотке специальным отсекателем, установленном на съемнике.

В автоматическом цехе 1ГПЗ шлифование роликовых дорожек как наружных, так и внутренних колец производят на бесцентрово-шлифовальных автоматах.

Режимы шлифования дорожек качения приведены в табл. 18—20.

При шлифовании поверхности качения роликовых колец контролируют овальность, разностенность, неперпендикулярность роликовой дорожки к торцу, угол и размер диаметра роликовой дорожки. Овальность, разностенность и неперпендикулярность роликовой дорожки к торцу при бесцентровом зажиме зависят главным образом от точности базовых поверхностей и точности станка, а при зажиме в мембранном патроне (внутренние кольца) — от точности станка и правильной настройки патрона. При бесцентровом методе зажима овальность наружной поверхности копируется на роликовую дорожку, причем неточность вращения роликов вызывает дополнительную овальность роликовой дорожки в пределах 0,002—0,003 *мм*. Допуск на овальность наружной поверхности должен быть хотя бы на 0,002—0,003 *мм* меньше допуска на овальность роликовой дорожки. Разностенность колец на бесцентровых станках выдерживается в пределах 0,01 *мм*, если наружная поверхность колец изготовлена в пределах технических условий класса Н. Для повышения точности следует на бесцентровых станках ролики заменить башмаками.

При фиксации кольца в осевом направлении опорной пластинкой неперпендикулярность роликовой дорожки к торцу будет равна неперпендикулярности наружной поверхности к торцу. При фиксации кольца при помощи вращающейся втулки и расположении оси ведущего ролика под углом к оси шпинделя шлифовального круга неперпендикулярность роликовой дорожки к торцу в 2—3 раза меньше неперпендикулярности наружной поверхности к торцу.

Отклонения по углу определяются главным образом режимом шлифования и качеством круга.

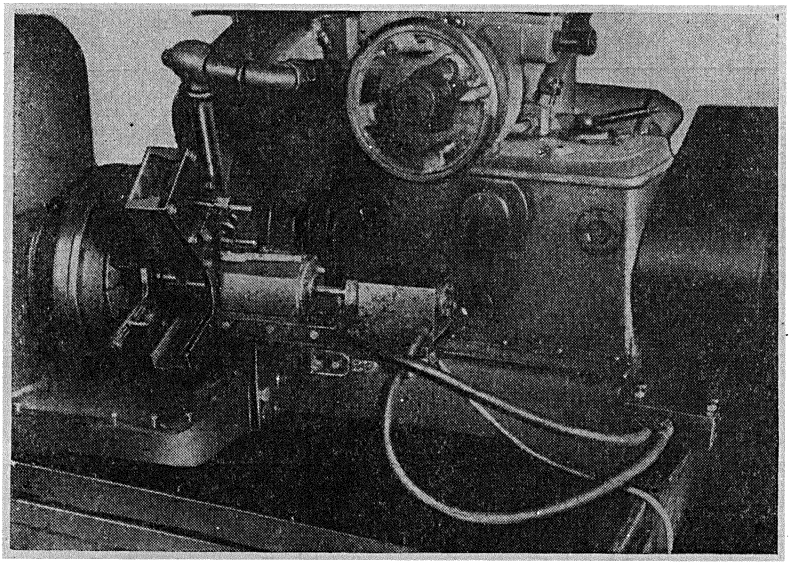
Способ бесцентрового внутреннего шлифования на роликах постепенно заменяется бесцентровым шлифованием на башмаках. Зажим изделия при обработке на башмаках, схематично показанный на фиг. 23, осуществляется следующим образом: шлифуемое кольцо базовым торцом прижимается к торцу вращающейся планшайбы, которая заменяет ведущий ролик и осуществляет вращение изделия, в радиальном направлении кольцо устанавливается в двух башмаках *1*.

Прижим шлифуемого кольца к торцу планшайбы осуществляется двумя роликами *2*.

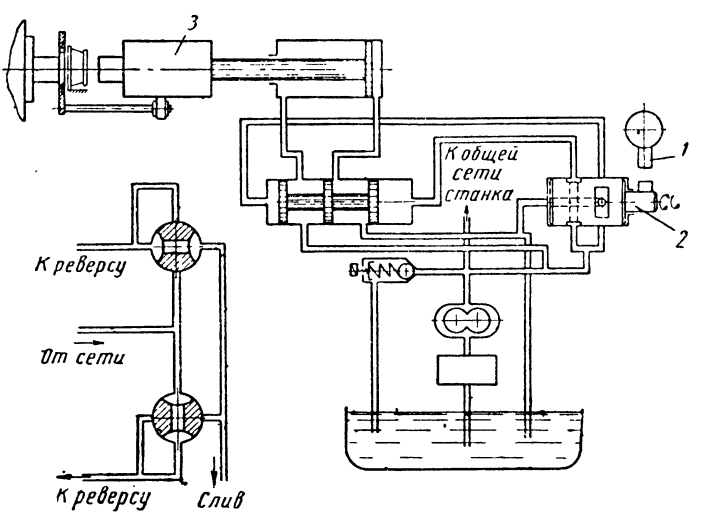
Прижим кольца к планшайбе может также осуществляться посредством магнитного патрона или давлением охлаждающей жидкости.

Способ бесцентрового шлифования на башмаках применяется также для шлифования роликовых дорожек внутренних колец.

[1] Конструкция Н. Н. Федотова и М. В. Лебедева.



Фиг. 21. Автооператор к полуавтомату ХСЗ-3486.



Фиг. 22. Гидравлическая схема к автооператору ХСЗ-3486.

18. Режимы чернового шлифования поверхности качения наружных колец конических и цилиндрических роликовых подшипников на бесцентровых внутришлифовальных автоматах

Диаметр отверстия в *мм*	Длина обрабатываемого отверстия						Длина пути суппорта за время чистового цикла в *мм*	Скорость круга в *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Число двойных ходов в мин.	Характеристика круга		
	до 30 *мм*			30—50 *мм*									
	Скорость поперечного суппорта в *мм/мин*										Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
	Предварительное шлифование s_1	Чистовое шлифование s_2	Коэффициент K	Предварительное шлифование s_1	Чистовое шлифование s_2	Коэффициент K							
30—40	0,75—0,65	0,45—0,4	1,2	—	—	—	0,05	35		90—80		C_1—CM_2	
40—60	0,75—0,65	0,5—0,45	1,2	—	—	—	0,05			90—80		C_1—CM_2	
60—80	0,65—0,60	0,25—0,4	1,2	—	—	—	0,05			90—80		C_1—CM_2	
80—100	0,65—0,5	0,4—0,35	1,3	0,5—0,45	0,40—0,35	1,3	0,04		85—100	70—60	40—25	CM_2—CM_1	Керамическая
100—125	0,5—0,4	0,35—0,30	1,3	0,45—0,35	0,35—0,30	1,3	0,04	50		70—60		CM_2—CM_1	
125—150	0,4—0,3	0,30—0,25	1,4	0,35—0,25	0,35—0,25	1,4	0,04			70—60		CM_2—CM_1	
150—175	0,4—0,25	0,20—0,25	1,4	0,28—0,23	0,25—0,20	1,4	0,04			60—50		CM_2—CM_1	

Примечание. Перед чистовым шлифованием круг выводится на правку алмазом.

19 Режимы чистового шлифования поверхности качения наружных колец конических и цилиндрических роликовых подшипников на бесцентровых внутришлифовальных автоматах

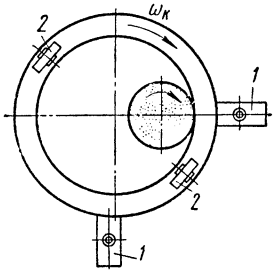
Диаметр отверстия в *мм*	Длина обрабатываемого отверстия						Длина пути суппорта за время чистового цикла в *мм*	Скорость круга в *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Число двойных ходов в мин.	Характеристика круга		
	до 30 *мм*			30—50 *мм*									
	Скорость поперечного суппорта в *мм/мин*												
	Предварительное шлифование s_1	Чистовое шлифование s_2	Коэффициент K	Предварительное шлифование s_1	Чистовое шлифование s_2	Коэффициент K					Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
30—40	0,5—0,45	0,1	1,4	—	—	—	0,02	35	85—100	90—80	25	CM_2	Керамическая
40—60	0,5—0,45	0,1	1,4	—	—	—				90—80		CM_2	
60—80	0,4—0,35	0,08	1,4	—	—	—				90—80		CM_2	
80—100	0,4—0,35	0,08	1,4	0,35—0,30	0,08	1,4		50		70—60		CM_1	
100—125	0,35—0,30	0,08	1,5	0,30—0,28	0,08	1,5				70—60		CM_1	
125—150	0,30—0,28	0,05	1,5	0,25—0,23	0,05	1,5				70—60		CM_1	
150—175	0,25—0,22	0,05	1,5	0,2—0,18	0,05	1,5				70—60		CM_1	

Примечание. Перед чистовым шлифованием круг выводится на правку алмазом.

20. Режимы шлифования поверхности качения внутренних колец конических и цилиндрических роликовых подшипников

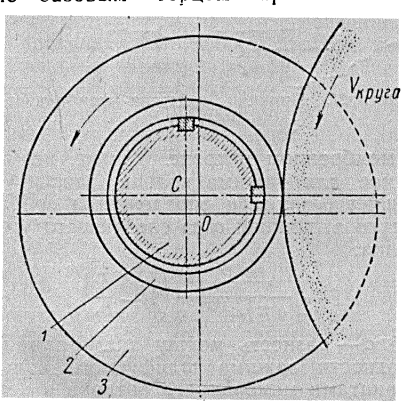
Размер роликовой дорожки в *мм*		Предварительное шлифование		Чистовое шлифование				Скорость круга в *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Характеристика круга					
										Черновое шлифование			Чистовое шлифование		
Диаметр	Ширина	Скорость поперечного суппорта в *мм/мин*	*K*	Скорость поперечного суппорта в *мм/мин*	*K*	Время на доводку в сек.	Припуск на операцию чистового шлифования в *мм*			Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка	Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
До 40	<16	1,8—1,5	1,2	0,7—0,6	1,2	—	0,08	50	50—80	60					
	>16	1,6—1,3		0,65—0,55											
40—70	<25	1,4—1,1	1,2	0,8—0,7	1,2				80—100					C_1	
	>25	1,2—1,0		0,7—0,6											
70—120	<30	1,0—0,9	1,2	0,6—0,5	1,2	6—10	0,10		100—120	46—60	C_1	Керамическая	16		Керамическая
	>30	0,9—0,7													
Свыше 120		0,7—0,5	1,3	0,4—0,35	1,3	8—12	0,12		100—150						

При этом способе обработки роликовых дорожек шлифование отверстия колец должно производиться также бесцентровым способом с базированием по роликовой дорожке.



Фиг. 23. Схема внутреннего бесцентрового шлифования на башмаках.

Существует способ бесцентрового наружного шлифования, при котором внутренняя поверхность обрабатываемого кольца опирается на башмаки и поэтому происходит копирование отверстия на наружную поверхность. Схема такого способа представлена на фиг. 24. Изделие базовым торцом прижимается к



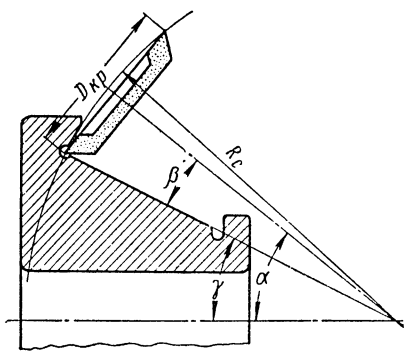
Фиг. 24. Схема наружного шлифования на башмаках: *1* — державка; *2* — обрабатываемое изделие; *3* — магнитный патрон.

вращающемуся магнитному патрону, а отверстие кольца прижимается к башмакам, установленным на неподвижной оправке. Благодаря смещению оси изделия относительно магнитного патрона создается составляющая, которая прижимает кольцо к башмакам и происходит обкатка кольца на башмаках. В этом случае шлифование отверстия колец можно производить любым способом. Способ шлифования на башмаках повышает точность обработки.

е) Шлифование торцовых поверхностей бортов. У колец цилиндрических роликоподшипников торцовые поверхности бортов плоские. У колец конических роликоподшипников торцовые поверхности бортов бывают либо плоскими, либо сферическими. Шлифование бортов внутренних двухбортовых колец производят периферией круга на специальном двухшпиндельном станке.

Шлифование бортов внутренних конических колец на неавтоматизированном производстве производят на полуавтоматах ЛЗ-12.

Для этих полуавтоматов ЛЗ-12 созданы автооператоры[1]. Сферические борты шлифуют чашечными кругами по схеме, показанной на фиг. 25.



Фиг. 25. Схема шлифования сферического борта внутренних колец конических роликоподшипников чашечным кругом.

Для шлифования сферических бортов освоены автоматы с применением профильных кругов.

Режимы шлифования бортов внутренних колец приведены в табл. 21.

Шлифование торцовых поверхностей бортов наружных колец производят на желобошлифовальных или внутришлифовальных станках, приспособленных для данной операции.

На указанной операции контролируют толщину борта, непараллельность между торцами кольца и борта, ширину дорожки качения (у двухбортовых колец) и профиль поверхности борта.

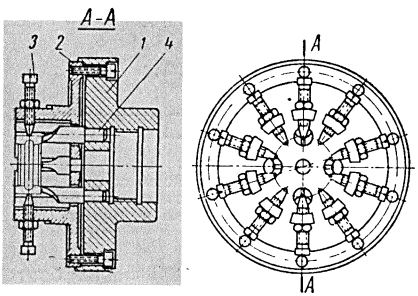
[1] Конструкция инж. А. Д. Оганяна.

21. Режимы на операцию шлифования поверхностей бортиков колец конических и цилиндрических подшипников

Диаметр борта в *мм*	Поперечная подача в *мм/мин*	Коэффициент K	Время на доводку в сек	Скорость круга в *м/сек*	Скорость детали в *м/мин*	Характеристика круга		
						Зернистость по ГОСТ 3647-59	Твердость	Связка
До 60	1,5—1,2	1,3	3		70—120	16	$СМ_3$	Керамическая
60—120	1,2—1,0	1,3	3	До 35	80—150	16	$СМ_2$	
Свыше 120	1,0—0,8	1,3	4		80—150	16	$СМ_1$	

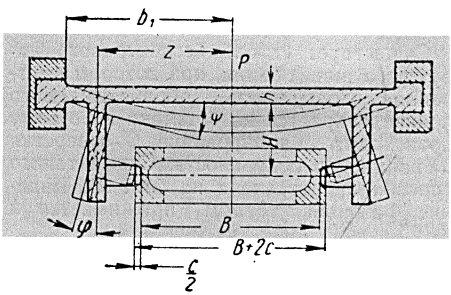
МЕМБРАННЫЕ ЗАЖИМНЫЕ ПАТРОНЫ

Мембранные патроны обеспечивают быстрый и точный зажим изделия. Их применяют для зажима наружных и внутренних колец подшипников. Конструкция мембранного патрона для зажима наружных колец представлена на фиг. 26. К планшайбе *1* прикрепляется мембрана *2*, имеющая кулачки. В кулачки ввинчиваются винты *3*, которые центрируют зажимное изделие. В планшайбу *1* запрессовывают упоры *4*, предназначенные для фиксации обрабатываемого изделия в осевом направлении. Принцип



Фиг. 26. Типовая конструкция мембранного патрона.

действия мембранного патрона схематично представлен на фиг. 27. Под действием силы P мембрана прогибается, кулачки поворачиваются и вместе с ними винты перемещаются. В этом положении расстояние между винтами должно быть больше наружного диаметра зажимаемого изделия. После прекращения действия силы P кулачки будут стремиться прийти в исходное состояние. Установленное изделие, имеющее размер больший, чем B, будет этому препятствовать, вследствие чего мембрана останется в деформированном состоянии. Благодаря оставшимся упругим деформациям изделие будет удерживаться



Фиг. 27. Принцип действия мембранного патрона.

в мембранном патроне. Усилие, необходимое для зажима кольца, зависит от усилия резания и определяется приближенно величиной c из следующего уравнения:

$$c = \frac{10{,}92\, P_z\, H^2}{\pi f E h^3}\left(1 - \frac{r}{b_1}\right),$$

где c — разность между диаметрами поверхности зажима шлифуемого кольца и винтами мембранного патрона в недеформированном состоянии; P_z — тангенциальная составляющая усилия резания; f — коэффициент трения.

Остальные обозначения показаны на фиг. 27.

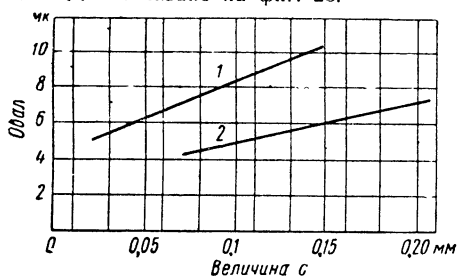
Усилие, необходимое для разжима мембранного патрона, приближенно определяется формулой

$$P = \frac{(c + 0{,}005)\, 4\pi D}{2Hr\, lh\, \frac{b_1}{r}},$$

где $D = \frac{E}{1-\mu^2}$ — цилиндрическая жесткость; E — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона.

Остальные обозначения показаны на фиг. 27. Винты и упоры мембранного патрона шлифуют непосредственно на станке.

Влияние величины c на овальность желобов наружных колец подшипников 208 и 307 показано на фиг. 28.



Фиг. 28. Влияние усилия зажима кольца в мембранном патроне на овальность желобов: *1* — наружное кольцо подшипника 208; *2* — наружное кольцо подшипника 307.

При зажиме колец в мембранном патроне неточность базовых поверхностей в пределах технических условий, действующих в подшипниковой промышленности, не оказывает заметного влияния на точность дорожек качения. Для тонкостенных колец применяют мембранные патроны, обеспечивающие зажим изделия кулачками, а не винтами.

Мембранные патроны применяют для обработки наружных колец до 700 *мм* и внутренних колец с размером отверстия от 35 до 600 *мм*.

При обработке колец больших размеров, а также при одновременном шлифовании двух колец, применяют мембранные патроны с двумя рядами зажимных винтов.

МЕЖОПЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Межоперационные технические условия должны обеспечивать геометрическую точность собранных подшипников, установленную ГОСТ, наибольшую долговечность и учитывать особенности технологического процесса.

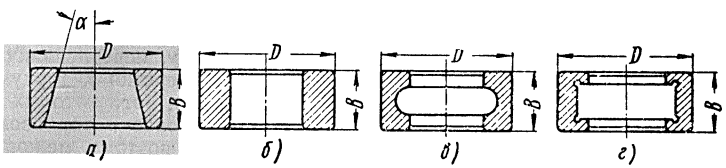
Разностенность между дорожкой качения и посадочной поверхностью, неперпендикулярность главной рабочей поверхности к торцу или непараллельность ее к торцу, неперпендикулярность поверхности отверстия к торцу являются параметрами, от которых зависит радиальное, боковое и торцовое биения подшипников и поэтому межоперационные нормы точности составляют 80—90% от норм точности на соответствующие биения в собранном подшипнике. Точность формы главных рабочих поверхностей — дорожек качения — и угол конуса дорожек качения колец роликовых подшипников установлены исходя из технологических возможностей.

Нормы точности на ряд параметров приняты исходя из требований технологического процесса. Ввиду того, что плоская торцовая поверхность служит вспомогательной технологической базой при шлифовании дорожек качения, нормы точности на непараллельность торцов значительно ужесточены по сравнению с нормами, допускаемыми ГОСТ.

Так как поверхности борта внутреннего кольца служат технологической базой при шлифовании отверстия, введены нормы точности на диаметр борта и неперпендикулярность борта к торцу. В межоперационные технические условия введены нормы на точность формы служебных базовых поверхностей вследствие того, что они служат основными технологическими базами при шлифовании дорожек качения, являющихся главными рабочими поверхностями. В табл. 22 и 23 приведены нормы точности на наружную, внутреннюю и торцовые поверхности наружных и внутренних колец шариковых и роликовых подшипников. Все виды подшипников, за исключением подшипников с конусным отверстием и упорных, имеют одинаковые нормы точности на указанные поверхности.

В табл. 24 — 26 даны нормы точности дорожек качения колец подшипников шариковых однорядных и роликовых с коническими и короткими цилиндрическими роликами. В табл. 24 приведены нормы точности для роликовой дорожки наружных и внутренних колец с короткими цилиндрическими роликами. Отметим, что нормы точности на неперпендикулярность роликовой дорожки и наружной поверхности к торцу даны на 10 *мм* ширины. Поэтому при контроле неперпендикулярности с установкой

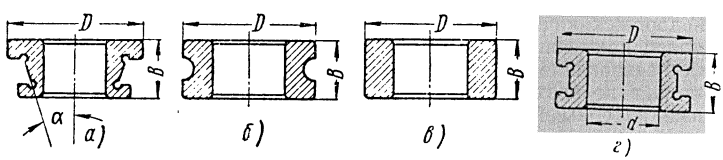
22. Технические условия на монтажные поверхности наружных колец



Номинальный наружный диаметр в мм		Допуски в мк																	
		Высота				Наружный диаметр													
		В	Непараллельность			Д*	Овальность			Конусность			Треугольность			Неперпендикулярность		
Свыше	До		Н	П	В		Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В
—	18	— 30	10	8	5	— 8	5	4	3	5	4	3	5	4	3	20	16	10
18	30	— 50	10	8	5	— 9	5	4	3	5	4	3	5	4	3	20	16	10
30	50	— 50	15	10	8	—11	6	5	4	6	5	4	6	5	4	20	16	10
50	80	— 50	15	10	8	—13	7	6	5	7	6	5	7	6	5	16	13	8
80	120	— 60	20	10	8	—15	8	7	6	8	7	6	8	7	6	10	8	5
120	150	— 60	20	15	10	—18	9	8	7	9	8	7	9	8	7	10	8	5
150	180	— 60	25	15	10	—25	10	9	8	10	9	8	10	9	8	8	6	4
180	250	— 80	25	15	12	—30	12	10	9	12	10	9	12	10	9	7	5,5	3,5
250	315	— 80	25	20	15	—35	12	10	9	12	10	9	12	10	9	5	4	2,5
315	400	—100	25	20	15	—40	15	12	10	15	12	10	15	12	10	4	3	2
400	500	—120	25	20	15	—45	18	15	10	18	15	10	18	15	10	4	3	2
500	630	—150	30	23	18	—50	20	15	10	20	15	10	20	15	10	4	3	2

* Для всех классов точности.

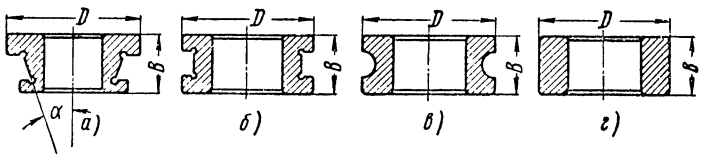
23. Технические условия на монтажные поверхности внутренних колец шариковых радиальных однорядных конических и цилиндрических роликовых подшипников



Номинальный внутренний диаметр в мм		Допуски в мк																
		Высота				Наружная поверхность			Отверстие									
		В*	Непараллельность			Д*	Неперпендикулярность к торцу на всю ширину кольца	Размер d*	Овальность			Конусность			Удвоенная неперпендикулярность отверстия к торцу на оправке		
Свыше	До		Н	П	В				Н	П	В	Н	П	Р	Н	П	В
—	30	— 30	10	8	5	—20—30	20	—10	6	5	3	6	5	3	18	14	8
30	50	— 50	10	8	5	—30—60	30	—12	6	5	4	6	5	4	18	14	8
50	80	— 50	10	8	5	—30—60	30	—15	8	5	4	8	5	4	23	18	10
80	120	— 60	10	8	5	—30—60	30	—20	10	8	6	10	8	6	23	18	10
120	180	— 60	15	12	8	—30—70	40	—25	12	10	7	12	10	7	27	22	13
180	250	— 80	18	14	9	—30—70	60	—30	15	12	8	15	12	8	27	22	13
250	315	— 80	20	16	10	—30—70	—	—35	18	15	10	18	15	10	32	25	15
315	400	—100	20	16	10	—30—70	—	—40	16	12	20	20	16	12	35	28	18

* Для всех классов точности.

24. Технические условия на рабочие поверхности внутренних колец шариковых однорядных конических и цилиндрических (коротких) роликоподшипников



Номинальный внутренний диаметр в *мм*		Допуски в *мк*										
		Отклонение диаметра дорожки качения	Разностенность для всех колец			Непараллельность желоба к торцам (шариковые подшипники)			Овальность дорожек качения для всех колец			Положение оси желоба (шариковые подшипники)[1]
Свыше	До		Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В	
—	30	±20	10	8	6	18	13	8	6	5	4	±30
30	50	±20	12	10	8	18	13	8	7	6	4	±40
50	80	±20	16	12	9	22	16	10	8	6	5	±40
80	120	±25	20	16	11	22	16	10	10	8	6	±50
120	180	±25	25	20	12	25	20	12	10	8	7	±50
180	250	±25	30	25	15	25	20	12	12	10	8	±80
250	315	±25	40	32	20	30	25	15	15	12	10	±80
315	400	±25	50	40	25	35	28	18	15	12	10	±100

[1] Для всех классов точности.

Продолжение табл 24

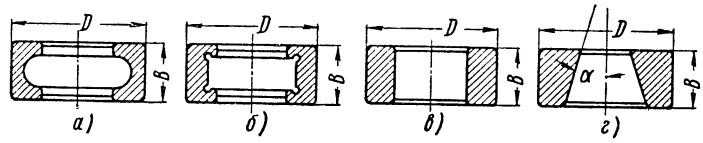
Номинальный внутренний диаметр в *мм*		Допуски в *мк*									
		Угол конуса α на всю ширину (конические подшипники)			Удвоенная неперпендикулярность оси конуса к торцу на 10 *мм*			Толщина борта (роликоподшипников)[1]	Непараллельность борта (роликоподшипники)		
Свыше	До	Н	П	В	Н	П	В		Н	П	В
—	30	±5	±5	±2	8	6,5	4	—40	15	12	8
30	50	±5	±5	±2	5	4,0	2,5	—40	15	12	8
50	80	±5	±5	±2	4,2	3,2	2,0	—50	20	16	10
80	120	±5	±5	±3	2,7	2,0	1,3	—50	20	16	10
120	180	±5	±5	±3	2,3	1,8	1,0	—60	25	20	12
180	250	±5	±5	±3	2,0	1,5	0,8	—60	25	20	12
250	315	±5	±5	±3	2,0	1,5	0,8	—70	28	24	15
315	400	±5	±5	±3	1,5	1,0	0,7	—70	32	28	16

[1] Для всех классов точности.

25. Технические условия на роликовые дорожки колец роликоподшипников

Длина роликов в *мм*		Допуски в *мк*			
		Разность диаметров на краях роликовой дорожки (цилиндрических роликоподшипников)		Удвоенная неперпендикулярность дорожки качения к торцу на всей ширине (цилиндрические роликоподшипники)	
Свыше	До	Н	П и В	Н	П и В
—	10	4	2	6	3
10	18	6	4	9	6
18	30	8	5	9	7
30	50	10	6	10	8
50	80	12	8	12	8

Примечание. Отклонения от прямолинейности допускаются только в сторону выпуклости.



Номинальный наружный диаметр в *мм*		Допуски в *мк*																			
		Размер *B* (все кольца, кроме конических)	Разностенность			Овальность			Непараллельность желоба шарикоподшипников			Положение оси желоба шарикоподшипников	Угол конуса 2α конических роликоподшипников			Удвоенная неперпендикулярность оси конуса к торцу на длине 10 *мм* роликоподшипников			Непараллельность торца борта к торцу кольца роликоподшипников		
Свыше	До		Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В		Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В
—	18	±25	12	8	6	5	4	3	32	26	18	±30	±5	±5	±2	35	26	20	20	16	10
18	30	±25	12	8	6	5	4	3	32	26	18	±30	±5		±2	20	16	11	20	16	10
30	50	±25	16	10	8	8	6	4	32	26	18	±30	±5		±2	12	10	7	20	16	10
50	80	±25	20	14	10	8	6	5	32	26	18	±40	±5		±2	7,5	6	4	20	16	10
80	120	±25	28	20	14	10	8	6	36	28	22	±40	±5		±2	5,5	4,5	3	23	18	11
120	150	±25	32	23	16	12	10	8	38	30	23	±50	±5		±3	5	4	2,7	25	20	13
150	180	±25	36	26	20	12	10	8	46	36	27	±50	±5		±3	5	4	2,7	30	24	15
180	250	±25	38	30	22	15	12	10	54	42	32	±50	±5		±3	4	3,5	2,3	35	28	18
250	315	±30	46	36	26	15	12	10	61	48	36	±50	±5		±3	4	3	2	40	32	20
315	400	±30	54	42	32	20	15	12	68	54	40	±80	±5		±3	3,5	2,5	1,8	45	36	23
400	500	±30	62	48	34	25	20	15	76	62	46	±100	±5		±3	3	2	1,6	50	40	25
500	630	±30	76	60	42	30	25	20	90	72	55	±100	±5		±3	3	2	1,6	60	48	30

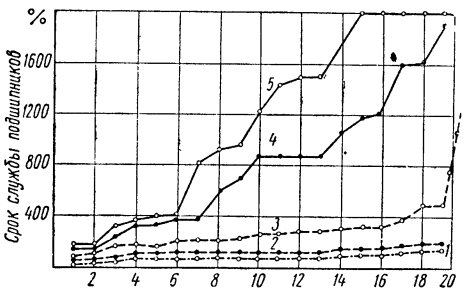
штифтов с большим расстоянием необходимо соответственно пересчитывать величину допускаемой неперпендикулярности.

ДОВОДКА ГЛАВНЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Влияние микрогеометрии поверхности и метода окончательной обработки колец на долговечность подшипников. Подшипники качения в большинстве своем выходят из строя в результате появления выкрашивания на рабочих поверхностях деталей подшипников. При таком характере выхода из строя подшипников большое влияние на их долговечность оказывают операции механической обработки, применяемые для окончательной обработки дорожек качения колец, вследствие того, что они определяют чистоту поверхности и физическое состояние поверхностного слоя.

В качестве основных методов окончательной обработки в подшипниковой промышленности применяют тонкое шлифование, полирование и суперфиниш. Для того чтобы установить, какой из методов окончательной обработки является наиболее эффективным и какой должна быть чистота рабочих поверхностей колец подшипников, необходимо знать, в какой зависимости от указанных факторов находится долговечность подшипников.

Влияние шероховатости поверхности на долговечность подшипников. При теоретическом определении напряжений, возникающих на контактных площадках деталей подшипников в процессе его работы, предполагается, что контактная площадка является сплошной. В действительности площадка контакта между соприкасающимися поверхностями представляет собой сумму отдельных небольших площадок, имеющих большое число действительных точек контакта. Поэтому фактическая площадка контакта будет меньше теоретической и будет зависеть от шероховатости поверхности соприкасающихся тел. Проведенные в ЭНИИППе испытания показали, что в процессе работы шероховатость поверхности изменяется и создается эксплуатационная шероховатость поверхности. Последняя зависит от исходной. Если исходная шероховатость поверхности ниже 10-го класса, то в процессе работы она улучшается, если исходная шероховатость поверхности в пределах 10—11-го классов, то в процессе работы она сохраняется. При исходной шероховатости в пределах 12-го класса имеет место ухудшение шероховатости поверхности в процессе работы. Результаты стендовых испытаний шариковых подшипников 307, различная шероховатость поверхности желобов колец которых была достигнута шлифованием, представлена на фиг. 29.



Фиг. 29. Влияние чистоты поверхности желобов колец подшипника № 307 на его долговечность. Чистота поверхности: *1*—8а; *2*—8б; *3* — 9-й класс; *4* — 10-й класс; *5* — 11-й класс.

С увеличением нагрузок и размеров колец степень влияния шероховатости поверхности на долговечность подшипников уменьшается. Из имеющихся экспериментальных данных следует, что 10в—11 классы шероховатости поверхности желобов колец обеспечивают наибольшую долговечность шариковых подшипников. Более высокая степень шероховатости поверхности не вызывает заметного увеличения долговечности. Шероховатость поверхности роликовых дорожек колец цилиндрических роликоподшипников оказывает также большое влияние на их долговечность. По данным исследования, проведенного в ЧССР, для роликовых дорожек колец роликоподшипников оптимальной является шероховатость поверхности в пределах 10-го класса.

Влияние методов окончательной обработки дорожек качения колец на долговечность подшипников. Метод окончательной обработки дорожек качения колец, обеспечивая требуемую чистоту поверхности, может оказать влияние на долговечность подшипников в том случае, если при его применении имеет место изменение физического состояния поверхностного слоя, отрицательно влияющее на работоспособность подшипников.

Изменение состояния поверхностного слоя при тонком шлифовании, полирова-

нии, суперфинише может быть результатом двух явлений: пластической деформации и контактной температуры, возникающей вследствие работы трения. В зависимости от метода обработки может возникать различная контактная температура.

При тонком шлифовании скорость резания наибольшая, поэтому и контактная температура наибольшая. При суперфинише контактная температура будет минимальной вследствие небольшой скорости резания. При полировании величина контактной температуры меньше, чем при тонком шлифовании, и больше, чем при суперфинише. Контактная температура, если она достигает определенного значения, вызывает появление внутренних растягивающих напряжений первого рода. Пластическая деформация вызывает появление сжимающих напряжений первого рода. Поэтому характер внутренних напряжений первого рода, возникающих в поверхностном слое обрабатываемой детали при применении того или иного метода обработки, позволяет оценить происшедшие в нем изменения. Проведенные эксперименты показали, что при тонком шлифовании возникают напряжения растяжения в слое глубиной до 2—3 *мк*, а при суперфинише со скоростью до 100 *м/мин* возникают напряжения сжатия также в слое глубиной 2—3 *мк*; при полировании возникают напряжения сжатия. В отдельных случаях при полировании могут возникнуть напряжения растяжения, которые распространяются на глубину не более 1—2 *мк* от поверхности. После операций тонкого шлифования, полирования и суперфиниша каких-либо заметных изменений микротвердости на приборе ПМТ-3 обнаружить не удалось.

Для определения влияния того или иного метода окончательной обработки на долговечность подшипников были проведены сравнительные стендовые испытания подшипников. Стендовым испытаниям подвергались подшипники, у которых дорожки качения колец окончательно обрабатывались одним из трех методов: тонким шлифованием, полированием или суперфинишем.

На фиг. 30 представлены результаты стендовых испытаний шариковых подшипников 307, желоба колец которых шлифовались и полировались в пределах 11-го класса, а на фиг. 31 показаны результаты испытаний подшипников, желоба колец которых подвергались полированию с твердым доводником и суперфинишу.

Из экспериментальных данных следует, что указанные методы окончательной обработки дорожек качения колец обеспечивают практически одинаковую долговечность подшипников. Следовательно, различное состояние поверхностного слоя на глубине до 0,002 *мм* при применении различных методов обработки не оказывает заметного влияния на долговечность подшипников.

Доводка желобов колец шарикоподшипников

К операции доводки желобов предъявляют следующие требования:

1. Стабильное обеспечение 10в—11-го классов шероховатости поверхности при чистоте поверхности после шлифования в пределах 7—8-го классов;

2. Уменьшение амплитуды волнистости. После доводки амплитуда волнистости должна быть не более 0,5 *мк* при исходной амплитуде волнистости в пределах 2 *мк*.

3. Сохранение геометрической точности кольца и формы желоба.

4. Сохранение работоспособности поверхностного слоя.

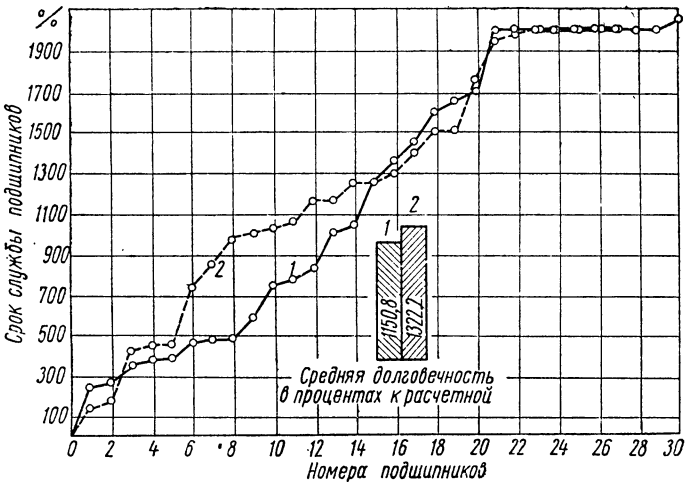
Кроме того, операция доводки должна отличаться высокой производительностью и должна позволять наиболее простыми средствами автоматизировать процесс. Следует отметить, что минимальная величина съема металла при доводке желобов зависит от шероховатости поверхности колец, поступающих на операцию.

В табл. 27 даны минимальные величины съема металла по диаметру желоба, необходимые для достижения 11-го класса чистоты шероховатости, в зависимости от шероховатости поверхности после шлифования.

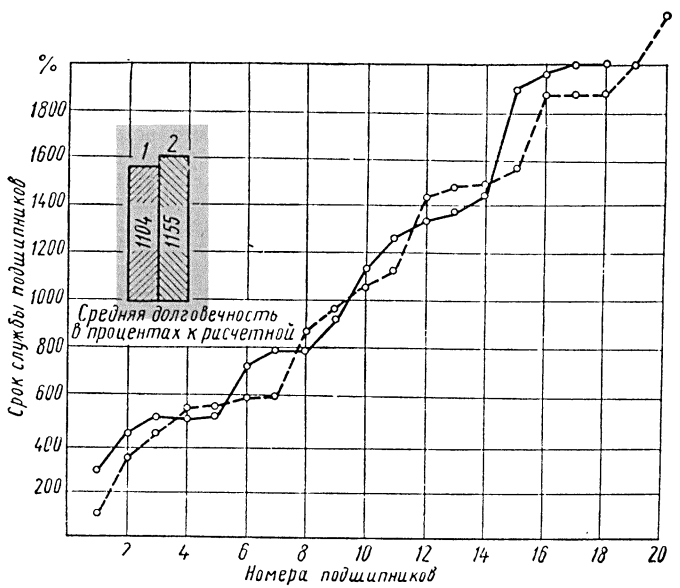
Если в процессе доводки съем металла меньше величины, указанной в табл. 27, то на доведенной поверхности

27. Величина минимального съема металла при доводке в *мк*

Шероховатость поверхности после шлифования (классы)	Минимальный съем по диаметру в *мк*
7	20 — 25
8	14 — 18
9	10 — 12



Фиг. 30. Результаты сравнительных стендовых испытаний подшипников 307 с полированными и шлифованными желобами: *1* — полированный желоб 11-го класса чистоты; *2* — шлифованный желоб 11-го класса чистоты.



Фиг. 31. Результаты сравнительных стендовых испытаний подшипников 204 с полированными и суперфинишированными желобами: *1* — полированный желоб 10-го класса чистоты; *2* — желоб после суперфиниша 10-го класса чистоты.

остаются следы шлифовальных рисок, которые не выявляются щуповыми приборами, применяемыми для контроля микрогеометрии поверхности. Эксперименты показали, что наличие на поверхности желоба следов шлифовальных рисок понижает долговечность шариковых подшипников.

В качестве методов окончательной обработки желобов колец нормального класса точности в подшипниковой промышленности применяют полирование и суперфиниш. На 1ГПЗ, 5ГПЗ и 11ГПЗ производится полирование желобов внутренних колец на автоматах ПАВ.

Автомат ПАВ работает следующим образом. Кольцо из магазина подается на оправку и зажимается с торца. Затем осуществляется контакт доводника, смонтированного на переднем суппорте и несущего шлифовальное полотно зернистостью 10, на которое наносится слой пасты с полируемым кольцом. Доводник, смонтированный на переднем суппорте, контактирует с обрабатываемым изделием дважды. Между первым и вторым контактом происходит перемещение отработанного участка шлифполотна. После окончания работы переднего суппорта в контакт с изделием вступает задний суппорт, несущий ленту. На ленту наносится слой пасты на стеариновой основе зернистостью 8. Кинематика процесса обработки на автомате ПАВ такая же, как и при суперфинише — вращательное движение изделия и качание инструмента по радиусу желоба. Число двойных качаний инструмента — 300 в минуту, амплитуда качания регулируется.

Полирование желобов наружных колец на 1ГПЗ производится на автомате ДА-150 * шлифовальным полотном зернистостью 10. Для обеспечения необходимого съема металла доводник, несущий шлифовальное полотно, контактирует с обрабатываемым изделием дважды. Между первым и вторым контактами происходит перемещение отработанного участка шлифовального полотна. Доводник имеет осциллирование с амплитудой порядка 1—2 *мм*. С обрабатываемым изделием одновременно контактируют два доводника, расположенных в диаметральном сечении.

На 3ГПЗ и 8ГПЗ для полирования желобов внутренних колец применяется автомат непрерывного действия ** с бесцентровым зажимом обрабатываемого изделия, позволяющий производить многоместное полирование. В качестве доводника служит жгут, надетый на кольцо. Полирование осуществляется пастой, наносимой на жгут. Полирование желобов наружных колец на 3ГПЗ производится на автомате ПНВ. Полирование осуществляется шлифовальным полотном зернистостью 10, на которое наносится слой пасты.

Шлифовальное полотно прижимается к поверхности желоба текстолитовыми доводниками. Доводникам за цикл обработки сообщается 3—4 качания по образующей желоба. Обрабатываемое изделие зажимается разрезным кольцом. Радиальное давление создается пневматическим устройством мембранного типа.

На автоматической линии 1ГПЗ полирование желобов наружных и внутренних колец осуществляется фетровым кругом с применением суспензии, содержащей абразивные зерна. Полирование производится на специальных желобошлифовальных станках.

На 4ГПЗ создан процесс суперфиниша желобов наружных и внутренних колец. Суперфиниш желобов отличается от распространенного метода суперфиниша цилиндрических и конических поверхностей тем, что возвратно-поступательное движение бруска заменено качанием по радиусу желоба. Суперфиниш желобов производится мелкозернистыми брусками на керамической связке высокой твердости (СТ и выше). Изделие вращается со скоростью 1—1,5 *м/сек*, число двойных качаний бруска — 600 в минуту. Амплитуда качания бруска регулируется в широких пределах. Радиальное давление осуществляется пневматикой.

Таким образом, в подшипниковой промышленности применяют три способа полирования: шлифовальным полотном (автоматы ПАВ, ДА-150 и ПНВ), пастой, наносимой на жгут (автомат Воронцова), и фетровым кругом с абразивной суспензией.

Анализ работы полировальных автоматов показал, что ни один из указанных способов не обеспечивает всех требований, предъявляемых к операции окончательной обработки желобов колец

Полированные автоматы с гибкими доводниками (фетр, жгут) имеют следующие недостатки:

а) не обеспечивают уменьшение ве-

* Конструкция Н. Н. Соколова и В. С. Малинчева.
** Конструкция А. В. Воронцова.

личины волнистости, что вызывает повышенную шумность подшипников;

б) не обеспечивают необходимого съема металла. Вследствие этого на желобах колец, имеющих после шлифования чистоту поверхности в пределах 7-го класса, остаются следы шлифовальных рисок, оказывающие отрицательное влияние на долговечность подшипников;

в) применение пасты вызывает быстрый износ трущихся частей станка и оставляет на поверхности желоба пленку, снятие которой возможно только механическим путем.

Указанные недостатки не дают возможности рекомендовать автоматы с гибкими доводниками для дальнейшего применения в подшипниковой промышленности.

Полирование шлифовальным полотном (автомат ПАВ и др.) обеспечивает получение шероховатости поверхности по общему фону в пределах 10—11-го классов, уменьшение амплитуды волнистости, сохранение геометрической точности и работоспособности поверхностного слоя. Наряду с этим этот способ полирования имеет следующие недостатки:

а) относительно малый съем металла (0,012—0,018 *мм*), вследствие чего на поверхности желоба остаются следы шлифовальных рисок;

б) применение пасты вызывает быстрый износ трущихся частей станка и поэтому не представляется возможным создать надежно работающий автомат.

Существенные недостатки имеет также процесс суперфиниша. Этими недостатками являются: нестабильность шероховатости поверхности и низкая производительность.

При суперфинише, где в качестве режущего инструмента применяется брусок, принципиально возможна работа бруска в следующих режимах: с полным затуплением, с частичным и полным самозатачиванием. При работе с полным затуплением происходит незначительное самозавинчивание бруска в момент контакта бруска с гребешками обрабатываемой поверхности. В этом случае по мере уменьшения высоты гребешков понижается удельное давление на фактических площадках контакта, вследствие чего уменьшается съем металла. Затем наступает такой момент, когда съем металла прекращается. При работе с полным затуплением съем металла и чистота поверхности зависят от исходной шероховатости поверхности. В этом случае не представляется возможным получить за одну операцию поверхность без следов шлифовальных рисок. Работа с частичным самозатачиванием характеризуется наличием самозатачивания в период контакта зерен не только с гребешками, но и с основной массой обрабатываемой поверхности, причем наряду с самозатачиванием имеет место затупление зерен, которое позволяет достигнуть относительно высокой чистоты поверхности и съема металла, достаточного для снятия следов шлифовальных рисок.

При работе с полным самозатачиванием имеет место непрерывный съем металла и износ бруска. В этом случае затупление зерен незначительно и шероховатость поверхности определяется главным образом зернистостью бруска. Режим работы бруска зависит от его характеристики и факторов режима.

На фиг. 32—35 приведены результаты экспериментальных данных, характеризующих влияние радиального давления, скорости изделия, зернистости и твердости бруска на величину съема и шероховатость поверхности. Из графиков следует, что, изменяя давление, скорость изделия, твердость и зернистость бруска, можно работать с различной степенью самозатачивания бруска, что и определяет нестабильность чистоты поверхности при суперфинише.

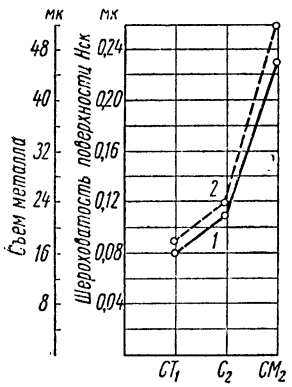
Кроме того, шероховатость поверхности в пределах 10-го класса может быть достигнута только при работе со скоростью 1—1,5 *м/сек*. Применение более высоких скоростей изделия вызывает ухудшение шероховатости поверхности.

Работа с низкими скоростями изделия и определяет относительно низкую производительность процесса суперфиниша.

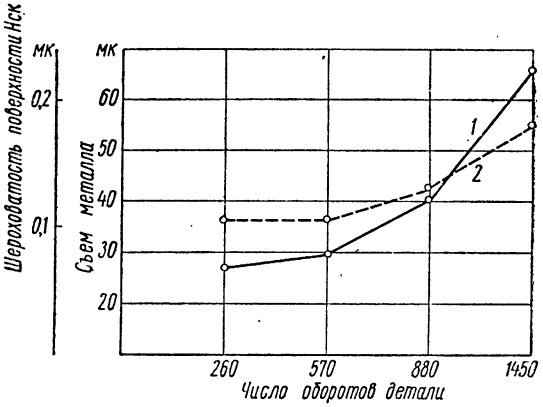
Нестабильность чистоты поверхности и низкая производительность являются недостатками суперфиниша.

Создание процесса доводки желобов колец, лишенного указанных недостатков, может быть достигнуто полированием шлифовальным полотном с жестким доводником с обеспечением необходимого съема металла.

Исследование, проведенное в ЭНИИПе, показало, что паста, предохраняющая абразивные зерна от налипания стружки в процессе работы, может быть заменена веретенным или машинным маслом непрерывно подаваемым на обрабатываемую поверхность. При работе с радиальным давлением более 12 *кг* на 1 *см* ши-



Фиг. 32. Влияние твердости бруска на величину съема металла и шероховатости поверхности: *1* — съем металла; *2* — шероховатость поверхности.



Фиг. 33. Влияние скорости изделия при суперфинише на величину съема металла и шероховатость поверхности: *1* — съем металла; *2* — шероховатость поверхности.

рины желоба следует добавлять в состав масла 6—8% технической олеиновой кислоты. Обеспечение необходимого съема металла может быть достигнуто за счет работы на соответствующих режимах.

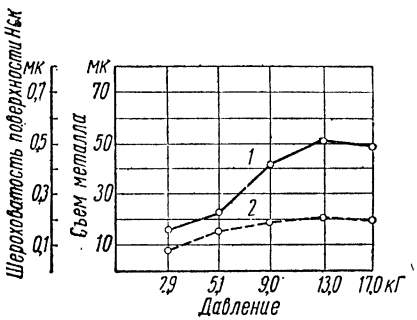
Режим полирования шлифовальным полотном определяется большим количеством факторов. Основными из них являются: центр и угол качания доводника, скорость изделия, радиальное давление, зернистость и материал зерен шлифовального полотна, число двойных качаний доводника, ширина шлифовального полотна по образующей, длительность контакта шлифовального полотна с обрабатываемым изделием, материал доводника и состав смазывающей жидкости.

Влияние угла качания доводника на величину съема металла и шероховатость поверхности показано на фиг. 36.

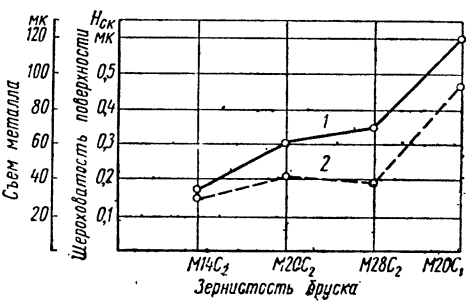
Из графика следует, что с увеличением угла качания съем металла повышается, а шероховатость поверхности не изменяется. При этом радиус качания должен быть равен радиусу желоба. Допускается работа с качанием меньшим, чем радиус желоба на 1—2 *мм*.

При полировании шлифовальным полотном можно работать с высокими скоростями изделия, что и определяет высокую производительность процесса.

Экспериментально установлено, что наибольшая долговечность подшипников достигается при скорости изделия 7—8 *м/сек*.

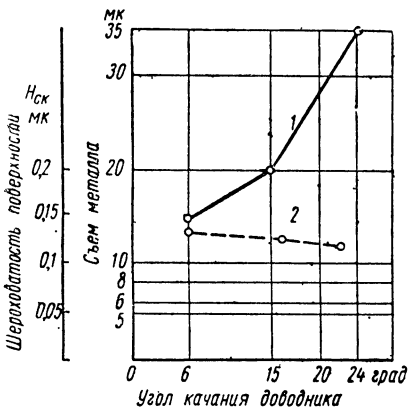


Фиг. 34. Влияние радиального давления при суперфинише на величину съема металла и шероховатость поверхности: *1* — съем металла; *2* — шероховатость поверхности.



Фиг. 35. Влияние зернистости бруска на величину съема металла и шероховатость поверхности: *1* — съема металла; *2* — микрогеометрия поверхности.

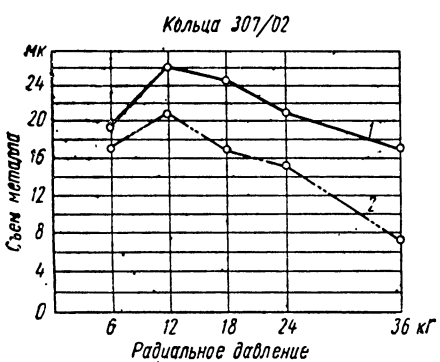
Влияние радиального давления на величину съема металла при полировании



Фиг. 36. Влияние угла качания доводника на величину съема металла и шероховатость поверхности: *1* — съем металла; *2* — шероховатость поверхности.

с непрерывной подачей масла приведено на фиг. 37.

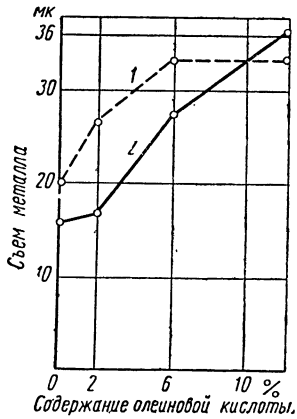
С увеличением радиального давления до 12 *кГ/см* ширины желоба съем металла повышается. Дальнейшее увеличение радиального давления вызывает умень-



Фиг. 37. Влияние радиального давления при полировании с непрерывной подачей масла на величину съема металла: *1* — полирование с машинным маслом +2 % олеиновой кислоты; *2* — полирование с машинным маслом.

шение величины съема. При добавлении в состав масла олеиновой кислоты степень уменьшения величины съема металла с увеличением радиального давления понижается.

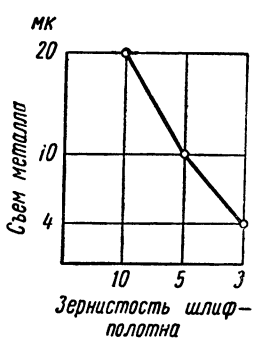
На фиг. 38 показано влияние концентрации олеиновой кислоты на величину съема металла при разных давлениях.



Фиг. 38. Влияние концентрации олеиновой кислоты на величину съема металла в зависимости от радиального давления: *1* — радиальное давление 18 *кГ*; *2* — радильное давление 27 *кГ*.

Эксперименты показали, что полирование с большим радиальным давлением не оправдано.

Влияние зернистости шлифовального полотна на величину съема металла приведено на фиг. 39 и 40. Из полученных данных следует, что с уменьшением раз-

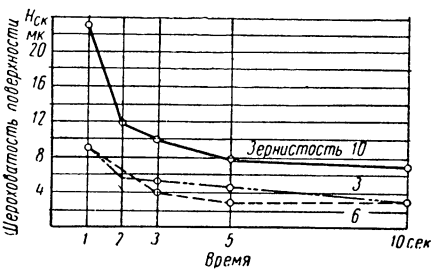


Фиг. 39. Влияние зернистости шлифполотна на величину съема металла.

мера зерен съем металла понижается и одновременно улучшается шероховатость поверхности, причем шероховатость

поверхности зависит от длительности контакта шлифовального полотна с изделием. Так, при работе шлифовальным полотном зернистостью 10 через две секунды после начала контакта достигается 10-й класс, а при работе шлифовальным полотном зернистостью 6 и 3 при длительности контакта, равной 1 сек., достигается 11-й класс.

Проведенные эксперименты показали, что полирование шлифовальным полотном с непрерывной подачей смазываю-



Фиг. 40. Влияние зернистости шлифовального полотна на шероховатость поверхности.

щей жидкости является методом окончательной обработки колец, обеспечивающим высокое качество подшипников.

Важной особенностью этого метода является высокая стабильность чистоты поверхности вследствие того, что факторы режима, повышающие интенсивность съема металла, не вызывают ухудшения чистоты поверхности.

Режимы полирования должны быть следующими.

1. Радиус качания доводника не должен быть больше радиуса желоба.

Допускается работа с радиусом качания доводника меньшим, чем радиус желоба на 1—2 *мм*.

2. Угол качания доводника 20—25°, число двойных качаний 300—600 в минуту.

3. Скорость изделия 7—9 *м/сек*.

4. Радиальное давление на 1 *см* ширины желоба 18—24 *кГ*.

5. Доводку следует производить шлифовальным полотном на электрокорунде зернистостью 10 и 5. Длительность контакта шлифовального полотна зернистостью 10, в зависимости от исходной шероховатости поверхности и размера кольца, должна быть 3—6 сек., а длительность контакта шлифовального полотна зернистостью 5 должна быть в пределах 2—3 сек.

6. В качестве смазывающей жидкости следует применять веретенное или машинное масло. При исходной шероховатости поверхности желобов в пределах 7-го класса следует добавлять в масло 4—8% технической олеиновой кислоты.

7. Доводники должны быть изготовлены из абразивных брусков или фрикционного чугуна.

Окончательная обработка дорожек качения колец роликоподшипников

Для окончательной обработки роликовых дорожек колец роликоподшипников применяют суперфиниш, тонкое шлифование и доводку шлифовальным полотном. Режимы обработки приведены в табл. 28.

Суперфиниш и доводка шлифовальным полотном обеспечивают 10-й класс шероховатости поверхности. Влияние факторов режима на величину съема и шероховатость поверхности при работе бруском и шлифовальным полотном такое же, как и при доводке желобов.

Суперфиниш и доводка шлифовальным полотном в силу своих кинематических особенностей служат только для уменьшения высоты микронеровностей и амплитуды волнистости.

28. Режимы окончательной обработки роликовых дорожек

Наименование операции	Скорость детали в *м/сек*	Удельное давление в *кГ/см²*	Число двойных ходов инструмента в мин.	Зернистость	Твердость	Длительность контакта инструмента с изделием в сек.
Суперфиниш	1 — 2	1,5 — 3	500 — 750	Брусок М28	C_2 — CT_1	25 — 40
Доводка шлифовальным полотном	6 — 8	10 — 15	1200 — 1500	Шлифовальное полотно 10	—	10 — 15

Макрогеометрия поверхности и точность формы в результате применения указанных методов почти не изменяется.

Экспериментально установлено, что овальность и разностенность изменяются на 1—2 *мк*, причем случаев улучшения овальности и разностенности больше, чем случаев ухудшения.

Тонкое шлифование осуществляется следующим образом: производится подвод бабки, несущей круг к обрабатываемому изделию до создания радиального давления, определяемого при помощи реле тока. После достижения установленного давления подача выключается и производится выхаживание, длительность которого контролируется также при помощи реле времени. Величина съема металла определяется величиной созданного радиального давления. Практически на операции тонкого шлифования съем металла по диаметру составляет 0,02—0,03 *мм*. Тонкое шлифование осуществляется вулканитовыми кругами зернистостью 6—5, твердостью $СМ_1$—$С_1$ или графитовыми кругами зернистостью М28. Скорость круга находится в пределах 15—18 *м/сек*. При обработке внутренних колец тонкое шлифование обеспечивает улучшение микрогеометрии и геометрической точности и поэтому тонкое шлифование может быть совмещено с чистовым шлифованием.

При обработке наружных колец операция тонкого шлифования служит только для улучшения микрогеометрии. Тонкое шлифование обеспечивает получение 9-го класса шероховатости поверхности.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Кузнецов В. Д., Физика твердого тела, т. III, «Красное знамя», 1944.
2. Кузнецов И. П., Основы скоростного шлифования и пути его внедрения в производство, Машгиз, 1954.
3. Брозголь И. М., Пути повышения производительности при круглом шлифовании. Сб. «Современные методы обработки деталей подшипников», кн. 3, Машгиз, 1950.
4. Кузнецов И. П., Процесс шлифования со скоростью 75 *м/сек*. Сб. научно-технической информации ЭНИИПП, № 20, 1959.
5. Мерперт М. П., Рейбах Ю. С. Современные методы шлифования кольцеобразных деталей в массовом производстве с высокой точностью «Станки и инструмент» № 4, 1960.
6. Брозголь И. М., Выбор оптимального метода доводки желобов колец. Сборник научно-технической информации ЭНИИПП, № 20, 1959.
7. Слонимский В. И., Теория бесцентрового шлифования, Машгиз, 1951.
8. Баранов Г. Г., Рубин С. Б., Филькин В. П., К теории сквозного бесцентрового шлифования. Точность изготовления шариковых и роликовых подшипников на автоматических линиях. Сборник докладов АН СССР, 1953.

Глава XIX

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШАРИКОВ

Шарики изготовляются как для производства шарикоподшипников, так и в виде свободных шариков, применяемых в качестве деталей машин и приборов или в качестве инструмента.

Шарики изготовляются из сталей разнообразных марок: ШХ6, ШХ9, ШХ15, Х18, 55СМА, ЭИ347, ЭИ944 и др., бронзы, латуни, серебра, твердых сплавов, стекла, резины, текстолита, дерева, фарфора, пластмассы и из других материалов.

Массовое потребление и наибольший удельный вес, превышающий 96%, имеют шарики диаметром от 3 до 27 *мм*, изготовленные из шарикоподшипниковой стали ШХ.

ПРОИЗВОДСТВО ШАРИКОВ ИЗ СТАЛИ ШХ

Технические условия

Технические условия на шарики из шарикоподшипниковой хромистой стали ШХ6, ШХ9, ШХ15 устанавливаются ГОСТ 3722-60. Шарики диаметром до 45 *мм* должны быть термически обработаны до твердости *HRC* 62—66, диаметром выше 45 *мм* — до твердости *HRC* 60—66.

По величинам допускаемых отклонений от номинальных диаметров шарики делятся на четыре группы: В — высокого класса, П — повышенного класса, Н — нормального класса, Р — разного назначения.

Допускаемые отклонения шариков от номинальных диаметров приведены в табл. 1.

Степень точности шариков характеризуется отклонениями от сферичности (овальности и гранности), разноразмерностью шариков в отсортированной группе и допускаемой шероховатостью. Овальность — разность между наибольшим и наименьшим диаметральными размерами; гранность — отклонение от сферической формы, обнаруживаемое при трехточечном измерении шариков.

1. Допускаемые отклонения шариков от номинальных диаметров (по ГОСТ 3222-60)

Интервалы номинальных диаметров шариков		Группы			
		В	П	Н	Р
Свыше	До				
0,8	3	±0,0025	±0,005	±0,01	$^{+0,025}_{-0,05}$
3	6	±0,005	0,01	±0,025	$^{+0,05}_{-0,1}$
6	10	±0,005	±0,025	±0,05	$^{+0,075}_{-0,15}$
10	18	±0,01	±0,05	±0,1	$^{+0,1}_{-0,2}$
18	30	±0,01	±0,05	±0,15	$^{+0,15}_{-0,3}$
30	180	±0,02	±0,1	±0,2	$^{+0,3}_{-0,4}$
180	260	±0,02	±0,1	±0,25	$^{+0,4}_{-0,6}$

Разноразмерность — разность между наименьшим и наибольшим из всех диаметральных размеров в одной отсортированной группе шариков, полученных при измерении в любых диаметральных сечениях.

По допускаемым ГОСТ 3722-60 отклонениям от сферичности, допускаемой разноразмерности и шероховатости поверхности шарики делятся на девять степеней точности от 02 до VI (табл. 2), назначение которых определяется отраслевой нормалью Н453—59.

По специальному требованию шарики изготовляют особо высокой точности с шероховатостью по 14-му классу чистоты поверхности с овальностью менее 0,1 *мк*.

Шарики диаметром от 3 до 45 *мм* должны подвергаться испытанию на разрушающую нагрузку в количестве от 2 до 10 шт. от партии.

Разрушающие нагрузки при испытании шариков должны быть не менее указанных в табл. 3.

2. Характеристика степеней точности шариков по ГОСТ 3722-60 и нормали Н453-59

Степень точности шариков	Назначение по отраслевой нормали Н453-59	Диаметр шариков в *мм*		Отклонения от сферичности (овальность, гранность) не более	Разноразмерность, не более	Класс поверхности по ГОСТ 2789-51, не более
		Свыше	До	в *мк*		
02	Для шарикоподшипников специального назначения и свободные шарики для приборов	0,8	3	0,1	0,2	13
		3	6	0.15	0,3	
01		0,8	3	0,15	0,3	
		3	6	0,2	0,4	
0		0,8	6	0,25	0,5	
		6	30	0,4	0,8	
I	Для шарикоподшипников классов точности С, СА, А, АВ и свободные шарики специального назначения	0,8	30	0,5	1	12
		30	50	0,8	1,5	
II	Для шарикоподшипников классов точности АВ, В, ВП, НП и свободные шарики специального назначения	0,8	30	1	2	11
		30	50	1,5	3	
		50	80	2	4	
III	Для шарикоподшипников классов точности Н и П и свободные шарики общего назначения	0,8	30	1,5	3	10
		30	50	2	4	
		50	80	2,5	5	
IV	Для шарикоподшипников неответственного назначения и свободные шарики общего назначения	0,8	30	2,5	5	9
		30	50	3	6	
		50	80	4	8	
		80	120	10	20	
		120	180	15	30	
		180	260	25	50	
V	Свободные шарики (для масленок, клапанов и пр.)	0,8	30	5	10	9
		30	50	8	16	
		50	80	10	20	
		80	120	20	40	8
		120	180	30	60	
		180	260	50	100	
VI	Свободные шарики, не требующие большой точности геометрической формы	0,8	30	25	50	8
		30	50	40	80	
		50	80	60	120	
		80	120	80	160	
		120	180	100	200	
		180	260	125	250	

3. Минимальные разрушающие нагрузки

Диаметр шарика		Разрушающая нагрузка в *кГ* не менее	Диаметр шарика		Разрушающая нагрузка в *кГ* не менее
в дюймах	в *мм*		в дюймах	в *мм*	
1/8	3,175	550	29/64	11,509	7 000
5/32	3,969	860	15/32	11,906	7 500
3/16	4,763	1 230	31/64	12,303	8 000
7/32	5,556	1 660	1/2	12,700	8 500
15/64	5,953	1 850	17/32	13,494	9 600
1/4	6,350	2 170	9/16	14,288	10 700
9/32	7,144	2 750			
5/16	7,938	3 350	19/32	15,081	11 900
11/32	8,731	4 050	5/8	15,875	13 100
23/64	9,128	4 400	21/32	16,669	14 500
			11/16	17,463	15 800
3/8	9,525	4 800			
25/64	9,922	5 300	23/32	18,256	17 200
13/32	10,319	5 600	3/4	19,050	18 700
7/16	11,113	6 500	25/32	19,844	20 300
			13/16	20,638	21 900

Продолжение табл. 3

Диаметр шарика		Разрушающая нагрузка в *кГ* не менее	Диаметр шарика		Разрушающая нагрузка в *кГ* не менее
в дюймах	в *мм*		в дюймах	в *мм*	
7/8	22,225	25 200	1 5/16	33,338	54 500
29/32	23,019	26 300	1 3/8	34,925	59 400
15/16	23,813	28 700	1 13/32	35,719	61 500
1	25,400	32 500	1 7/16	36,513	64 500
1 1/32	26,194	34 000	1 1/2	38,100	70 000
1 1/16	26,988	36 500	1 9/16	39,699	75 000
1 3/32	27,791	38 200	1 5/8	41,275	81 500
1 1/8	28,575	40 500	1 11/16	42,863	87 000
1 3/16	30,163	45 000	1 3/4	44,450	93 000
1 1/4	31,750	49 700			

4. Испытательная нагрузка при сжатии

Диаметр шарика	в дюймах	2	—	3	—	4	6	8
	в *мм*	50,8	60	76,2	100	101,6	152,4	203,2
Нагрузка	в *кГ*	8	10	15	25	25	50	80

5. Допускаемая остаточная деформация шариков после испытания на сжатие

Диаметр шарика	в дюймах	2	—	3	—	4	6	8
	в *мм*	50,8	60	76,2	100	101,6	152,4	203,2
Разница между действительными размерами шариков, измеренных до и после сжатия, не более *мк*		3	3	3	4	4	6	10

Шарики диаметром от 45 до 80 *мм* подвергаются испытанию на сжатие в количестве 10% от предъявленной партии, свыше 80 *мм* — все 100%.

Испытательная нагрузка при сжатии в зависимости от размера шариков должна соответствовать размерам, приведенным в табл. 4.

Остаточная деформация должна быть не более указанной в табл. 5.

На шариках не допускаются четко очерченные пятна вторичной закалки и вторичного отпуска и штрихи вторичной закалки, выявленные после холодного травления в растворах азотной кислоты.

Шарики, поставляемые потребителям в виде отдельных деталей, после нанесения на них защитной смазки упаковываются в картонные коробки, а затем в деревянные ящики, выложенные внутри влагонепроницаемой и предохраняющей от коррозии бумагой.

Технологические маршруты

Шарики имеют единственную шаровую поверхность, которая оформляет деталь и совмещает главную рабочую и основную базовую поверхности, и обрабатываются не по одному, а сразу партиями,— поэтому технологические процессы обработки шариков имеют свои особенности. Вся гамма технологических операций строится на методе бесцентровой обработки главной рабочей поверхности, при этом вполне и непрерывно удовлетворяется принцип совмещения основной служебной, технологической и контрольной баз. Заготовкам придается первоначальная шарообразная форма. Затем, постепенно уточняя шарообразную форму, стремятся придать заготовке идеальную форму шара при постепенном улучшении шероховатости.

Существующие разнообразные технологические процессы производства шариков можно сгруппировать в следующие типовые варианты.

Технологические процессы первого типа характеризуются обработкой шариков из штампованных заготовок мелкими партиями до 30 *кГ* на безэлеваторных вертикальных шароопиловочных

и шародоводочных станках, высоким качеством механического опиливания, применением абразивной обработки шариков в барабанах как до закалки, так и после, отсутствием шлифовальных операций обработки шариков абразивными кругами, обработкой шариков, после твердой абразивной обработки, между чугунными дисками с доводочной пастой.

Технологические процессы второго типа характеризуются обработкой шариков из штампованных заготовок крупными партиями до 200 *кГ* на горизонтальных шароопиловочных и шарошлифовальных автоматах, широким применением шлифовальных операций до и после закалки, отсутствием абразивной обработки в барабанах и доводочных операций, применением полирования ковровской известью в стальных барабанах и полирования обрезками хромовой кожи в деревянных барабанах.

Технологические процессы третьего типа характеризуются обработкой шариков из штампованных заготовок на горизонтальных шароопиловочных, шарошлифовальных и шародоводочных автоматах, применением абразивной обработки шариков в барабанах до закалки, полированием в ковровской извести и в обрезках кожи.

Технологические процессы четвертого типа характеризуются обработкой шариков из штамповочных заготовок очень крупными партиями — от 250 до 400 *кГ*; сочетанием высокопроизводительных опиловочных, шлифовальных и доводочных операций; применением для некоторых типоразмеров горячей поперечной прокатки и электроопиливания. Допускается полирование в венской извести и коже.

Наряду с этими основными вариантами имеют место и другие,— например, обработка шариков только между чугунными дисками на шародоводочных станках, прецизионное опиливание шариков под закалку, изготовление шариков из цилиндриков, изготовление шариков из обточенных заготовок и т. д.

В технологических процессах каждого из указанных типов на каждой технологической операции и после окончания операции производится выборочный, а в случае необходимости и 100%-ный контроль. Перед каждой шлифовальной и доводочной операциями производится сортировка шариков.

После полной обработки производится окончательный контроль, смазка и упаковка.

Перспективным является вариант технологического процесса, характеризуемый прецизионной штамповкой, прецизионным механическим опиливанием или предварительным шлифованием, шлифованием до и после закалки и многократной доводкой на поточных автоматических линиях, состоящих из вертикальных станков с вертикальными (считая по оси вращения) автоматами питания (магазинами) с обеспечением высокого качества шариков без промежуточных сортировочных и контрольных операций.

Применительно к имеющемуся на отечественных заводах оборудованию для массового производства шариков нормальной точности рекомендуются технологические маршруты по табл. 6 и операционные размеры, приведенные в табл. 7.

После завершения проводимой работы по созданию новых более совершенных моделей горизонтально-высадочных прессов и шародоводочных автоматов для элеваторной доводки шариков рекомендуются заготовки всех размеров шариков III, IV, V, VI, VII, VIII и IX технологических групп, т. е. от 1 до 35 мм, получать методом холодной штамповки, а полирование в барабанах для шариков VI, VII, VIII и IX технологических групп, т. е. от 6 до 35 мм, заменить доводкой.

При замене полирования в барабанах доводкой на точных станках типа ШД-20, можно по технологическим процессам, указанным в табл. 6, обеспечить массовый выпуск шариков II степени точности по ГОСТ 3722-60.

Основные технологические операции

Холодная штамповка. Холодная штамповка на горизонтальных высадочных автоматах для шариков всех степеней точности диаметром до $1^{1}/_{16}''$ (27 *мм*) включительно, является наиболее прогрессивным и универсальным методом выполнения заготовок с первоначальной шарообразной формой.

Для штамповки шариков разных размеров применяют прессы разной мощности и быстроходности, с числом двойных ходов от 400 до 50 в минуту, но принципиальная схема прессов примерно одинакова

6. Распределение шариков (для размеров от 1,5 до 260 *мм*) третьей степени точности по методов

Размерные технологические группы		Микрошарики	Миниатюрные шарики		
		0	I	II	III
Диаметр шариков в *мм*	От	0,05	0,2	0,35	1,0
	До	0,2	0,35	1,0	1,5
Основные типовые размеры шариков, входящих в размерную технологическую группу		0,05 *мм* 0,07 » 0,08 » 0,1 » 0,15 »	0,2 *мм* 0,25 » 0,3 »	0,35 *мм* 0,4 » 0,5 » 0,68 » 0,8 »	1,0 *мм* 1,3 »
Основные операции технологического процесса, характеризующие данную размерную технологическую группу		Доводка абразивной пастой между чугунными доводочными дисками специальной конструкции на сверхпрецизионных вертикальных шародоводочных станках без применения смесительных устройств	Доводка абразивной пастой между доводочными дисками специальной конструкции на прецизионных вертикальных шародовочных станках, без применения смесительных устройств	1. Рубка на цилиндрики. 2. Прецизионное опиливание. 3. Обработка между чугунными дисками (мягкая доводка). 4. Закалка. 5. Отпуск. 6. Твердая доводка. 7. Чистовая доводка. 8. Окончательная доводка. Обработка производится с применением смесительных устройств (окон в дисках).	1. Рубка на цилиндрики. 2. Прецизионное опиливание. 3. Обработка между чугунными дисками (мягкая доводка). 4. Закалка. 5. Отпуск. 6. Твердая доводка. 7. Чистовая доводка. Обработка производится с применением смесительных устройств (окон в дисках)
		Изготовляются из шариков диаметром 0,2 *мм*	Изготовляются из шариков диаметром 0,35 *мм*	Допускается изготовление из заготовок шариков $^1/_{16}''$	

ГОСТ-3722—60 из стали ШХ на размерные технологические группы, характеризуемые точностью производства

Мелкие шарики		Средние шарики	
IV	V	VI	VII
1,5	3,0	6,0	14,0
3,0	6,0	14,0	26,9
1,5 *мм* 1/16″ 2 *мм* 2,5 *мм*	3,0 *мм* 1/8″ 5/32″ 3/16″ 5 *мм* 7/32″ 15/64″	6,0 *мм* 1/4″ 9/32″ 3/8″ 11/32″ 3/8″ 13/32″ 7/16″ 15/32″ 1/2″ 17/32″	9/16″ 13/32″ 5/8″ 11/16″ 3/4 25/32″ 13/16″ 7/8″ 15/16″ 1″ 1 1/32″
1. Холодная штамповка.	1. Холодная штамповка.	1. Холодная штамповка.	1. Холодная штамповка.
2. Скоростное прецизионное опиливание	2. Скоростное прецизионное опиливание.	2. Скоростное прецизионное опиливание.	2. Удаление облоя и полюсных выступов.
3. Закалка.	3. Закалка.	3. Скоростное мягкое шлифование.	3. Скоростное предварительное шлифование (или электроопиливание с последующим высоким отпуском).
4. Отпуск.	4. Отпуск.	4. Закалка.	4. Скоростное мягкое шлифование
5. Твердая доводка.	5. Твердое шлифование.	5. Отпуск.	5. Закалка
6. Чистовая доводка.	6. Доводка.	6. Скоростное твердое шлифование.	6. Отпуск
	7. Полировка.	7. Доводка.	7. Скоростное твердое шлифование.
		8. Полирование.	8. Доводка
			9. Полирование
Обработка производится с применением автоматов питания	Обработка производится с применением элеваторов (автоматов питания) малой и средней емкости Перед закалкой допускается абразивная обработка или мягкое шлифование	Обработка производится с применением элеваторов (автоматов питания) большой емкости	Обработка производится с применением элеваторов большой емкости. Допускается замена предварительного шлифования механическим опиливание

Крупные шарики		Крупногабарит	
VIII	IX	X	XI
26,9	28,6	35	51
28,6	35,0	51	102
1 1/16″	1 5/32″	1 13/32″	2 1/16″
1 3/32″	1 3/16″	1 7/16″	2 1/8″
1 1/8″	1 7/32″	1 1/2″	2 1/4″
	1 1/4″	1 5/8″	2 1/2″
	1 9/32″	1 11/16″	3″
	1 5/16″	1 3/4″	4″
	1 11/32″	2″	
	1 3/8″		
1. Холодная штамповка (или горячая поперечная прокатка или горячая штамповка)	1. Горячая поперечная прокатка (или горячая штамповка).	1. Горячая поперечная прокатка (или горячая штамповка).	1. Горячая штамповка на молотах.
2. Удаление облоя и полюсных выступов.	2. Удаление полюсных выступов.	2. Удаление полюсных выступов.	2. Обрезка облоя.
3. Скоростное предварительное шлифованние.	3. Отжиг.	3. Отжиг.	3. Отжиг.
4. Мягкое шлифование.	4. Скоростное предварительное шлифование.	4. Предварительное шлифование.	4. Штучная токарная обработка.
5. Закалка.	5. Мягкое шлифование.	5. Мягкое шлифование.	5. Предварительное шлифование мелкими сериями.
6. Отпуск.	6. Закалка.	6. Закалка.	6. Закалка.
7. Твердое шлифование.	7. Отпуск.	7. Отпуск.	7. Отпуск.
8. Доводка.	8. Твердое шлифование.	8. Твердое шлифование.	8. Твердое шлифование.
9. Полирование.	9. Доводка.	9. Доводка.	9. Доводка.
Обработка производится с применением элеваторов большой емкости.	10. Чистовая доводка или полирование.	10. Чистовая доводка (машинное полирование).	10. Чистовая доводка (машинное полирование).
	Обработка производится с применением элеваторов большой емкости.	Обработка производится с применением элеватора.	

Продолжение табл. 6

ные шарики			
XII	XIII	XIV	XV
102	180	204	260
180	204	260	500
6″	8″	10″	17″
1. Горячая штамповка на молотах. 2. Обрезка облоя. 3. Отжиг. 4. Штучная токарная обработка. 5. Закалка. 6. Отпуск. 7. Штучное твердое шлифование на бесцентрово шлифовальном станке. 8. Второе твердое шлифование. 9. Доводка. 10. Машинное полирование.	1. Горячая штамповка на молотах. 2. Обрезка облоя. 3. Штучная токарная обработка. 4. Нормализация. 5. Закалка. 6. Отпуск. 7. Штучное твердое шлифование на бесцентрово-шлифовальном станке. 8. Второе твердое шлифование. 9. Доводка. 10. Машинное полирование.	1. Свободная ковка. 2. Отжиг. 3. Штучная токарная обработка. 4. Штучное шлифование на бесцентрово-шлифовальном станке. 5. Нормализация. 6. Закалка. 7. Отпуск. 8. Штучное шлифование на бесцентрово-шлифовальном станке. 9. Второе шлифование. 10. Доводка. 11. Машинное полирование.	1. Свободная ковка. 2. Отжиг. 3 и 4. Штучная токарная обработка и шлифование на универсальном крупногабаритном оборудовании с применением специальных приспособлений. 5. Нормализация. 6. Закалка. 7. Отпуск. 8—11. Штучное шлифование, доводка и полирование на универсальном крупногабаритном оборудовании с применением специальных устройств.

7. Операционные размеры и величины допусков на овальность и гранность шариков VI (самой массовой) размерной технологической группы (диаметром от 6 до 14 *мм*) третьей степени точности по ГОСТ 3722-60

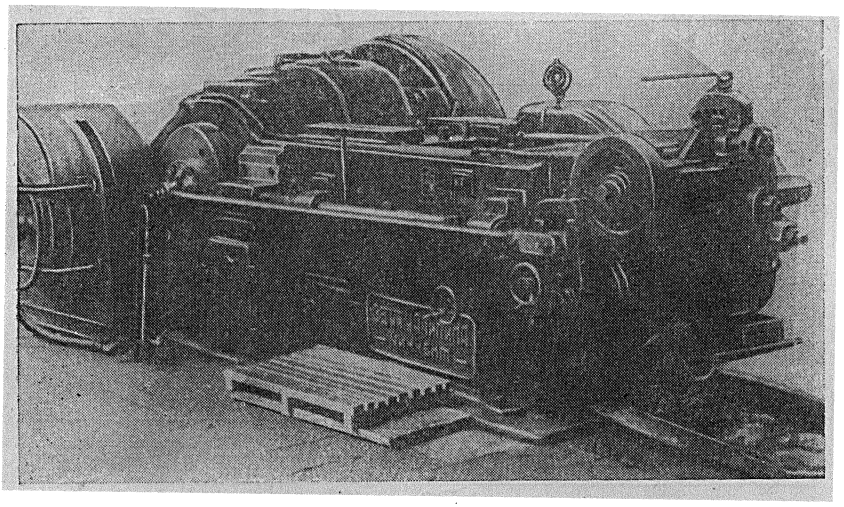
(Примерная таблица)

Диаметр шариков		Холодная штамповка			Механическое опиливание			Мягкое шлифование (до закалки)			Твердое шлифование (после закалки)			Доводка			Полирование (или чистовая доводка)		
в дюймах	в *мм*	Размер	Допуск на размер (+)	Смещение полусфер	Размер	Допуск на размер (+)	Допуск на овальность	Размер	Допуск на размер (+)	Допуск на овальность	Размер	Допуск на размер (+)	Допуск на овальность	Размер	Допуск на размер	Допуск на овальность	Размер	Допуск на размер	Допуск на овальность
1/4	6,350	6,980	0,12	0,06	6,830	0,08	0,04	6,500	0,02	0,01	6,373	0,004	0,002	6,353	0,002	0,001	6,350	0,002	0,001
9/32	7,144	7,770	0,12	0,06	7,620	0,08	0,04	7,290	0,02	0,01	7,167	0,004	0,002	7,152	0,002	0,001	7,144	0,002	0,001
5/16	7,938	8,580	0,12	0,06	8,430	0,08	0,04	8,090	0,02	0,01	7,961	0,004	0,002	7,946	0,002	0,001	7,938	0,002	0,001
11/32	8,731	9,380	0,12	0,06	9,230	0,08	0,04	8,890	0,02	0,01	8,754	0,004	0,002	8,739	0,002	0,001	8,731	0,002	0,001
3/8	9,525	10,180	0,12	0,06	10,030	0,08	0,04	9,690	0,02	0,01	9,548	0,004	0,002	9,533	0,002	0,001	9,525	0,002	0,001
13/32	10,319	11,060	0,12	0,06	10,860	0,08	0,04	10,480	0,02	0,01	10,342	0,004	0,002	10,327	0,002	0,001	10,319	0,002	0,001
7/16	11,112	11,850	0,15	0,08	11,650	0,10	0,05	11,230	0,02	0,01	11,142	0 004	0,002	11,124	0,002	0,001	11,112	0,002	0,001
29/64	11,309	12,250	0,18	0,09	12,050	0,10	0,05	11,630	0,02	0,01	11,539	0,024	0,002	11,521	0,002	0,001	11,509	0,002	0,001
15/32	11,906	12,650	0,18	0,09	12,450	0,10	0,05	12,030	0,02	0,01	11,936	0,004	0,002	11,918	0,002	0,001	11,906	0,002	0,001
31/64	12,303	13,050	0,18	0,09	12,480	0,10	0,05	12,430	0,02	0,01	12,333	0,004	0,002	12,315	0,002	0,001	12,303	0,002	0,001
1/2	12,700	13,440	0,18	0,09	13,240	0,10	0,05	12,820	0,02	0,01	12,730	0,004	0,002	12,712	0,002	0,001	12,700	0,002	0,001
17/32	13,494	14,320	0,18	0,09	14,070	0,10	0,05	13,630	0,02	0,01	13,524	0,004	0,002	13,506	0,001	0,001	13,494	0,002	0,001

Примечания: 1. Допуск на овальность, гранность и разноразмерность готовых шариков может быть ужесточена до 0,00025 *мм*. Соответственно ужесточаются технические условия на операциях.

2. Допуск на овальность, гранность и разноразмерность готовых шариков может быть смягчен до 0,001—0,002 *мм*. Соответственно смягчаются технические условия на операциях.

Распространенной и прогрессивной является модель горизонтально-высадочного пресса-автомата Чимкентского завода имени М. И. Калинина мод. А-148, общий вид, кинематическая схема и цикл работы которого показаны



Фиг. 1. Горизонтально-высадочный пресс-автомат завода им. Калинина мод. А-148.

на фиг. 1—3, а характеристика приведена в табл. 8.

8. Основные параметры пресса-автомата модели А-148

Наименование параметров	Высадка	
	холодная	горячая
Наибольший диаметр шарика в дюймах	До 1 1/8"*	2"
Наименьший диаметр шарика в дюймах	3/4"	1 1/8"*
Наибольший диаметр прутка в *мм* .	24,3	40
Число ходов ползуна в минуту	70	
Мощность электродвигателя в *квт* .	40	
Число оборотов электродвигателя в минуту	975	
Число оборотов маховика в минуту .	335	

* Фактически до 1 1/16" вкл.

Пресс-автомат работает в следующем порядке (фиг. 2): калиброванный пруток *1* подается прерывисто-вращающимися желобчатыми дисками *2* сквозь направляющую через отверстие отрезной втулки до упора *3*, фиксирующего необходимую длину заготовки. Прерывистое вращение желобчатых подающих дисков осуществляется роликовой фрикционной муфтой *4*.

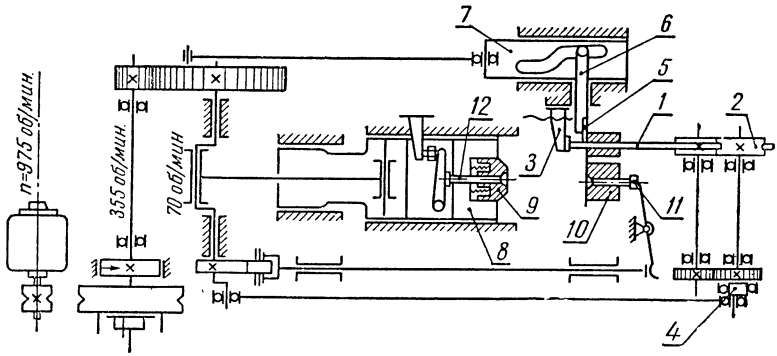
Выступающая из отрезной втулки мерная заготовка отрезается ножом *5* и удерживающим механизмом перемещается вместе с ножом на линию высадки (на линию центров матрицы пуансона).

Перемещение ножевого штока *6* осуществляется от принудительного перемещения кулачков по профильной дорожке, имеющейся в ползуне реза *7*, приводимого в поступательно-возвратное движение кривошипно-шатунным механизмом.

Во время неподвижного положения ножа с заготовкой на линию высадки подходит высадочный ползун *8* с подпружиненным пуансоном *9*.

Заготовка вначале заталкивается движением пуансона в полость матрицы и затем становится в распор между пуансоном *9* и матрицей *10*. Пуансон в период зажатия заготовки неподвижен, в то время как высадочный ползун продолжает перемещаться к матрице за счет сжатия пружин пуансона.

За время зажатия заготовки и неподвижного положения пуансона ножевой шток, увлекая за собой нож, отходит



Фиг. 2. Кинематическая схема пресса А-148.

Цикл работы механизмов горизонтально-высадочного пресса автомата типа А-148

Высадочный ползун	Рабочий ход (идет к матрице)			Обратный ход (идет от матрицы)		
	0°			180°		360°
Пуансон	Движение пуансона с ползуном к матрице	Захват заготовки	Штамповка	Отход ползуна при неподвижном пуансоне	Отход пуансона с ползуном от матрицы	
	0°	104° 42'	109° 14'	134° 10'	180° 304° 41'	360°
Ползун режущего механизма	Идет от коленчатого вала	Идет к коленчатому валу			Идет от коленчатого вала	
	88° 46'				268° 46'	
Нож	Отрезка и подача заготовки к матрице	Неподвижность ножа у матрицы	Отвод ножа от матрицы	Неподвижность ножа у отрезной втулки		
	2° 9'	70° 50'	106° 42'	177° 27'		
Механизм подачи	Подающие ролики неподвижны			Подача заготовок		
	27°			180° 27'		
Выталкиватель из пуансона и матрицы	Отход выталкивателя	Выталкиватели неподвижны				Выталкивание готового шарика
	60°					300°

Фиг. 3. Цикл работы механизмов пресса А-148.

9. Размеры рабочих полостей матриц и пуансонов

Диаметр шариков		Минимальный диаметр штампованных заготовок	Рекомендуемое уменьшение диаметра сферы пуансона и матрицы	Гарантированный минимальный припуск на диаметр	Рекомендуемый диаметр сферы пуансона и матрицы	Рекомендуемая глубина сферы в пуансоне и матрице
в дюймах	в *мм*					
—	2,5	3,08	—0,18	0,40	2,90	1,44
—	3,0	3,58	—0,28	0,30	3,30	1,64
1/8	3,175	3,78	—0,28	0,325	3,50	1,73
5/32	3,969	4,60	—0,30	0,33	4,30	2,13
—	4,0	4,60	—0,30	0,30	4,30	2,13
3/16	4,762	5,39	—0,29	0,34	5,10	2,53
—	5,0	5,63	—0,33	0,30	5,30	2,63
13/64	5,159	5,79	—0,29	0,34	5,50	2,73
7/32″	5,556	6,19	—0,29	0,34	5,90	2,93
15/64	5,953	6,59	—0,29	0,34	6,30	3,31
—	6,0	6,63	—0,33	0,30	6,30	3,13
1/4	6,350	6,98	—0,32	0,31	6,66	3,30
9/32	7,144	7,77	—0,31	0,32	7,46	3,70
5/16	7,938	8,58	—0,32	0,32	8,26	4,10
11/32	8,731	9,38	—0,32	0,33	9,06	4,50
23/64	9,128	9,78	—0,32	0,33	9,46	4,70
3/8	9,525	10,18	—0,32	0,38	9,86	4,89
13/32	10,319	11,06	—0,36	0,38	10,70	5,27
3/8	9,525	10,18	—0,32	0,33	9,46	4,70
13/32	10,319	11,06	—0,36	0,38	10,70	5,27
7/16	11,112	11,85	—0,35	0,38	11,50	5,65
29/64	11,509	12,25	—0,35	0,38	11,90	5,85
15/32	11,906	12,65	—0,35	0,39	12,30	6,05
31/64	12,303	13,05	—0,35	0,39	12,70	6,25
1/2	12,700	13,44	—0,34	0,40	13,10	6,45
17/32	13,494	14,32	—0,42	0,40	13,90	6,83
9/16	14,288	15,12	—0,42	0,41	14,70	7,20
19/32	15,081	15,91	—0,41	0,41	15,50	7,60
5/8	15,875	16,75	—0,39	0,48	16,36	7,98
21/32	16,669	17,55	—0,39	0,49	17,16	8,40
11/16	17,462	18,34	—0,38	0,49	17,96	8,75
23/32	18,256	19,14	—0,38	0,50	18,76	9,15
3/4	19,050	19,95	—0,40	0,50	19,56	9,50
25/32	19,844	20,75	—0,35	0,55	20,40	9,8
13/16	20,638	21,64	—0,44	0,56	21,20	10,20
27/32	21,431	22,43	—0,43	0,57	22,00	10,60
7/8	22,225	23,23	—0,42	0,57	22,80	11,0
29/32	23,019	24,02	—0,42	0,58	23,60	11,40
15/16	23,812	24,81	—0,41	0,58	24,40	11,70
31/32	24,606	25,61	—0,41	0,59	25,20	12,10
1	25,4	26,4	—0,40	0,60	26,00	12,50
1 1/32	26,194	27,22	—0,42	0,60	26,80	12,90

в исходное положение на линию подачи и реза заготовки.

Затем по мере поджатия пружин ползуном пуансон становится в распор с ползуном, и заготовка осаживается.

Во время отхода ползуна в заднее положение происходит выталкивание шарика выталкивателями *11* и *12*, установленными в пуансоне и матрице (фиг. 3).

Диаметр прутка или проволоки, из которых штампуются шарики, должен составлять $^2/_3$ диаметра шарика после штамповки.

Длина цилиндрика (отрезка прутка или проволоки), из которого штампуется шарик, равна 2,25 диаметра прутка.

При проектировании матриц и пуансонов рекомендуется, по действующей отраслевой нормали, брать размеры рабочих полостей, представленных на табл. 9.

Матрицы и пуансоны изготовляются из стали ШХ15.

Для увеличения стойкости матриц и пуансонов можно применять вставки из твердого сплава ВК-20 или из легированных марок стали.

Для устранения заштамповки необходимо обеспечить острые режущие грани у ножа и втулки, надежное крепление ножа в кондукторе, плотное прилегание режущей кромки ножа к втулке, параллельность движения кондуктора по отношению к режущей грани втулки, соответствие диаметра втулки и диаметра прутка.

Нормы расхода металла на 1000 шт. шариков номинальных диаметров III степени точности при холодной штамповке с учетом расходов на испытания, контрольные операции и наладку даны в табл. 10.

10. Нормы расхода металла на 1000 шт. шариков

Диаметр шарика в дюймах	Норма расхода металла на 1000 шт. в *кГ*	Диаметр шарика в дюймах	Норма расхода металла на 1000 шт. в *кГ*	Диаметр шарика в дюймах	Норма расхода металла на 1000 шт. в *кГ*
$^1/_8$	0,259	$^3/_8$	4,783	$^5/_8$	21,290
$^5/_{32}$	0,455	$^{13}/_{32}$	6,194	$^{11}/_{16}$	28,202
$^3/_{16}$	0,718	$^7/_{16}$	7,640	$^3/_4$	36,077
$^7/_{32}$	1,089	$^{29}/_{64}$	8,411	$^{25}/_{32}$	40,368
$^{15}/_{64}$	1,322	$^{15}/_{32}$	9,270	$^{13}/_{16}$	45,805
$^1/_4$	1,560	$^{31}/_{64}$	10,145	$^7/_8$	56,670
$^9/_{32}$	2,152	$^1/_2$	11,107	$^{15}/_{16}$	69,439
$^5/_{16}$	2,889	$^{17}/_{32}$	13,352	1	83,817
$^{11}/_{32}$	3,739	$^9/_{16}$	15,672	$1^1/_{32}$	91,596
$^{23}/_{64}$	4,256	$^{19}/_{32}$	18,235		

Горячая и полугорячая штамповка. Для шариков диаметров от $1^1/_8$ до 2″ прогрессивным методом выполнения заготовок является горячая и полугорячая штамповка на горизонтально-высадочных прессах-автоматах обычной и усиленной модели А-148 Чимкентского завода имени Калинина.

Горячая и полугорячая штамповка отличаются от технологии холодной штамповки только большей величиной припуска в связи с появлением обезуглероженного слоя.

Минимальный припуск рекомендуется для шариков от $1^1/_8$ до $1^3/_8$″ 1, 2 *мм*, от $1^1/_2$ до 2″ — 1,6 *мм* на диаметр. Температура нагрева металла перед горячей штамповкой 840°, перед полугорячей штамповкой — 700°.

После горячей штамповки шарики должны подвергаться отжигу.

Нормы расхода металла на 1000 шт. шариков III степени точности номинальных диаметров при горячей и полугорячей штамповке с учетом расхода на испытания, контрольные операции и наладку даны в табл. 11.

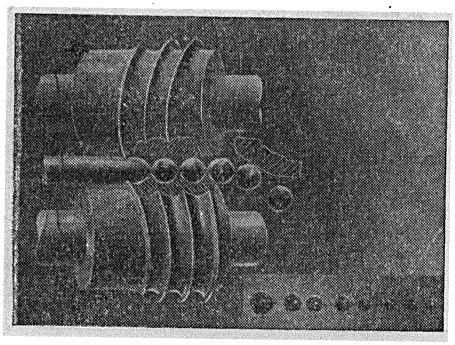
11. Нормы расхода металла на 1000 шт. шариков

Диаметр шарика в дюймах	Норма расхода металла на 1000 шт. в *кГ*	Диаметр шарика в дюймах	Норма расхода металла на 1000 шт. в *кГ*
$1^1/_{16}$	103,102	$1^1/_4$	166,136
$1^3/_{32}$	111,725	$1^9/_{32}$	178,349
$1^1/_8$	122,416	$1^5/_{16}$	190,936
$1^5/_{32}$	132,374	$1^{11}/_{32}$	204,357
$1^3/_{16}$	142,257	$1^3/_8$	218,611
$1^7/_{32}$	153,395		

Горячая поперечная прокатка. Горячая поперечная прокатка для изготовления заготовок шариков общего потока диаметром от $1^1/_6$″ до 2″ из стали ШХ15 применяется ограниченно (для других марок легированных сталей Х18, Э4347 и пр. прокатку шариков применять нельзя). Этот метод отличается оригинальностью и большой производительностью, но вследствие высокой стоимости агрегата целесообразен только при большом объеме заданного выпуска. Кроме того, при этом способе пока нет гарантии отсутствия микропор и рыхлот, снижающих долговечность шариков при больших нагрузках. Возникнув в подшипниковой промышленности, этот метод получил широкое распространение

при изготовлении мелющих шаров для помольных мельниц угольной, цементной и других отраслей промышленности.

Поперечная прокатка производится между двумя валками (фиг. 4).



Фиг. 4. Схема поперечной прокатки.

Весь процесс формирования заготовки шарика по этому методу состоит из перевода прутка с постоянным сечением в переменные сечения путем последовательного непрерывного обжатия заготовок винтовыми профилированными калибрами валков, вращающимися в одну сторону.

Процесс формирования шарика можно разбить на три основных этапа:

1) захват мерной части прутка, необходимой для образования одного шарика;

2) образование сферы;

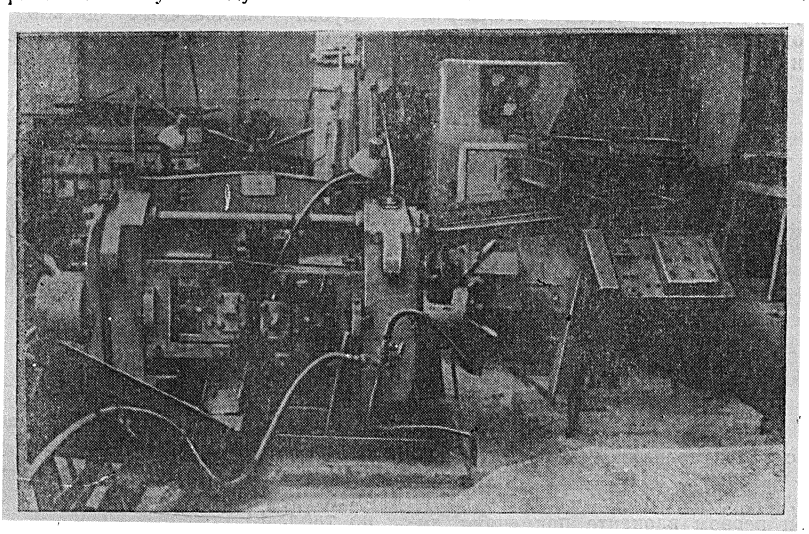
3) калибровка шарика и отрезка перемычки.

Горячая поперечная прокатка осуществляется на шаропрокатных станах модели ЦКБ ММ-8 (фиг. 5) или модели ЦКБ ММ-37. Нагрев прутков перед прокаткой производится токами повышенной частоты в индукционных установках НИИТВЧ — 1ГПЗ или НИИТВЧ — 4ГПЗ. Мощность двигателя стана ЦКБ ММ-8 75 *квт*, стана ЦКБ ММ-37 — 115 *квт*.

При прокатке шариков на стане ЦКБ ММ-8 длина прутков 1,4—1,9 *м*, а на стане ЦКБ ММ-37 — 3—4,5 *м*.

Для прокатки применяется холоднотянутая или обточенная отожженная горячекатаная сталь.

Число оборотов валков на стане ЦКБ ММ-8 230, 150 и 100 об/мин, а на стане ЦКБ ММ-37 — 180, 135 и 75 об/мин.



Фиг. 5. Шаропрокатный стан ЦКБ ММ-8.

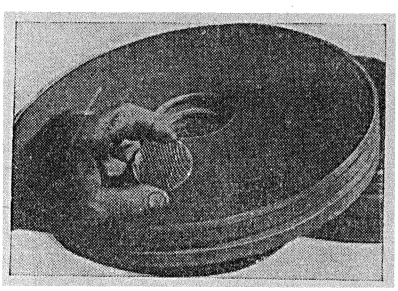
Операционные технические условия на горячую поперечную прокатку шариков приведены в табл 12

Механическое опиливание. Механическое машинное опиливание аналогично ручному опиливанию напильником, но отличается от последнего тем, что является не прямолинейным, а спирально-планетарно-фрикционным.

12. Технические условия на горячую поперечную прокатку шариков

Диаметр шарика		Диаметр прутка	Диаметр прокатанной заготовки шарика	Общий припуск	Допуск на диаметр заготовки	Овальность заготовки
в дюймах	в *мм*					
1 1/16	26,988	27,8—0,14	28,0	1,012		
1 3/32	27,781	28,0—0,14	28,8	1,019		
1 1/8	28,575	29,0—0,14	29,7	1,125		
1 3/16	30,163	31,0—0,14	31,3	1,137		
1 1/4	31,750	32,2—0,17	32,9	1,15	+0,2	0,15
1 5/16	33,338	33,5—0,17	34,5	1,162		
1 3/8	34,925	35,5—0,17	36,1	1,175		
1 13/32	35,718	36,5—0,17	37,0	1,282		
1 7/16	36,513	37,0—0,17	37,8	1,287		
1 1/2	38,100	38,5—0,17	39,3	1,20		
1 11/16	42,9	43,5—0,17	44,4	1,50		
1 3/4	44,45	45,5—0,17	46,8	1,85	+ 0,8	0,2
2″	50,8	52—0,20	53,0	2,20		

Опиливание шариков производится на вертикальных или горизонтальных шароопиловочных станках, оснащенных автоматами питания, между стальными опиловочными дисками: а) двумя плоскими (фиг. 6), б) одним плоским и одним с полусферическим желобом, имеющим форму архимедовой спирали (фиг. 7).



Фиг. 6. Плоский опиловочный диск.

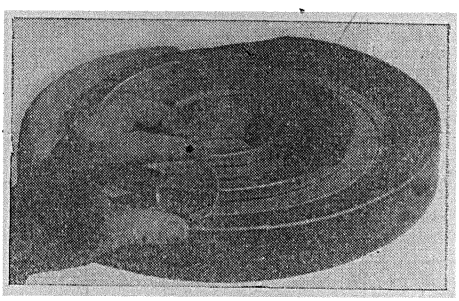
При первом варианте применяют диски различных диаметров, из которых наибольшее распространение имеют 330 и 700 *мм*.

При втором варианте применяют диски диаметром 330 *мм*.

Применение опиловочных дисков с полусферическими желобами допустимо только для опиливания шариков свыше 17/32″; в принципе этог метод является устаревшим. Его можно рекомендовать для обдирки облоя и полюсных выступов.

Мелкие и средние шарики до 17/32″ включительно должны опиливаться только плоскими опиловочными дисками.

Зубья опиловочных дисков могут иметь различную геометрическую форму. Наиболее рациональны прямые зубья и «в елочку».



Фиг. 7. Желобной опиловочный диск.

Шаг зубьев должен соответствовать диаметру опиливаемых шариков согласно табл. 13.

13. Шаг зубьев опиловочных дисков

Диаметры шариков в дюймах	Шаг зубьев опиловочных дисков в *мм*
1/32 — 1/8	0,3
1/8 — 5/32	0,5
5/32 — 7/32	0,7
7/32 — 11/32	0,8
11/32 — 21/32	1,0
21/32 — 1	1,1
1 — 1 3/8	1,2

Опиловочные диски изготовляют из стали ШХ15 твердостью в пределах *HRC* 62—65. Диски обычно имеют наружный диаметр 330 *мм*, внутренний 93 *мм*, максимальную высоту 40 *мм*, минимальную — 21 *мм*. Зубья дисков имеют угол заострения 72 или 90°. Коробление дисков допускается в пределах ±0,1 *мм*.

Число оборотов рекомендуется применять в пределах 250—350 об/мин. Шарики поступают в рабочую зону из дисков, и их траектория движения между плоскими опиловочными дисками соответствует архимедовой спирали. У желобчатых опиловочных дисков желоб расположен также по архимедовой спирали трех вариантов, показанных в табл. 14.

14. Параметры архимедовой спирали опиловочных дисков

Диаметры опиливаемых шариков в дюймах	Шаг спирали желоба в *мм*	Длина спирали желоба в *мм*
9/16—11/16	23,5	2550
23/32—1	32,2	1778
1 1/32—1 3/34	51	1017

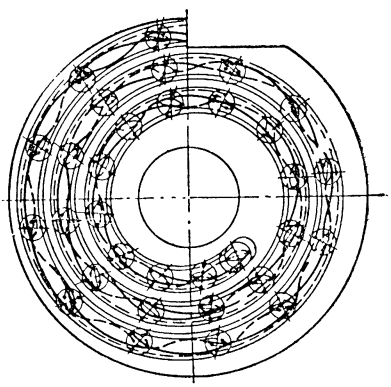
Обработка партии шариков начинается и заканчивается при нулевом давлении на диски. Увеличение давления производится постепенно каждый раз на 0,25 *т*, а уменьшение на 0,5 *т*.

Максимальное давление на один шарик увеличивается по мере увеличения его диаметра и составляет: для шариков типа 1/8″ 0,25 *кГ*; 5/32″ — 0,4 *кГ*; 1/4″ — 1,5 *кГ*; 7/16″ — 3 *кГ*; 5/8″ — 22 *кГ*; 3/4″ — 36 *кГ*; 11/16″ — 103 *кГ*.

Для охлаждения рекомендуется применять мыльную воднощелочную смазочно-охлаждающую жидкость по следующей рецептуре: 0,5% тринатрийфосфата; 0,25% нитрита натрия; 0,5% мыла нафтенового; остальное — вода.

Наибольшее распространение имеют модели шароопиловочных станков: двухпарные горизонтальные станки ШОС-13, предназначенные для опиливания плоскими опиловочными дисками диаметром 330 *мм* шариков диаметром от 1/8″ до 17/32″ партией до 200 *кГ*; вертикальные станки модели МШ-32 для опиливания плоскими опиловочными дисками диаметром 700 *мм* шариков диаметром от 1/4″ до 11/16″ партией до 300 *кГ*; вертикальные станки модели 1ГПЗ — ШОБ для опиливания плоскими опиловочными дисками диаметром 330 *мм* шариков диаметром от 1/16″ до 3/16″ партией до 60 *кГ*; горизонтальные станки модели 4ГПЗ для опиливания желобными опиловочными дисками шариков диаметром от 9/16″ до 1 3/8″ партией до 120 *кГ*.

Траектория поверхности шарика при движении в желобе опиловочного диска показана на фиг. 8.



Фиг. 8. Траектория поверхности шарика при движении в желобе опиловочного диска.

Часовая производительность машинного опиливания шариков, выраженная в граммах снятых опилок, определяется формулами:

для плоских опиловочных дисков

$$q_{n_1} = 4{,}68\, V_{ш.\,c} N_1;$$

для желобчатых опиловочных дисков

$$q_{nc} = 468\, V_{ш.\,c} N_{nc},$$

где $V_{ш.c}$ — объем шарового сегмента срезаемого зубьями опиловочного диска;

N — число шаровых сегментов, срезаемых в минуту;

$$N_1 = \frac{2\left(R_к^2 - R_н^2\right)\pi n}{s d_ш};$$

$$N_{nc} = \frac{3\left(R_к^2 - R_н^2\right)\pi n}{Ss}.$$

Здесь $R_к$ — конечный радиус архимедовой спирали в *мм*; $R_н$ — начальный радиус архимедовой спирали в *мм*; S — шаг архимедовой спирали в *мм*; s — шаг зубьев в *мм*; n — число оборо-

тов диска в мин.; $d_ш$ — средний диаметр шарика на операции опиливания в *мм*.

Соответственно машинное время на опиливание партии шариков определяется по формуле

$$T_м = \frac{Q}{q},$$

где Q — вес металла, подлежащего снятию партии шариков, в *Г*.

Часовая производительность и стойкость плоского опиловочного диска диаметром 330 *мм* при опиливании на станках ШОС-13 показана в табл. 15.

15. Производительность и стойкость опиловочного диска диаметром 330 *мм*

Диаметры шариков в дюймах	Часовая производительность в *Г* снятых опилок	Стойкость опиловочного плоского диска в *кГ* снятых опилок
1/8	142	30
5/32	186	33
3/16	206	36
1/32	320	42
1/4	425	49
9/32	508	57
5/16	547	70
11/32	712	78
3/8	806	85
13/32	858	88
7/16	870	91
15/32	876	91
1/2	878	92
17/32	880	93

Примечание. Приведенные в таблице данные действительны при условиях: 1) поступления шариков на механическое опиливание после обдирки полюсных выступов и облоя или почти безоблойной и бесполюсной штамповки, 2) получения шариков после опиливания с овальностью, не превышающей в зависимости от диаметра шариков 0,02—0,05 *мм*, при чистоте поверхности по 5-му классу и при отсутствии срезов и прочих дефектов.

После предварительного высокого отпуска или отжига часовая производительность опиливания и стойкость опиловочных дисков увеличиваются на 10—15%.

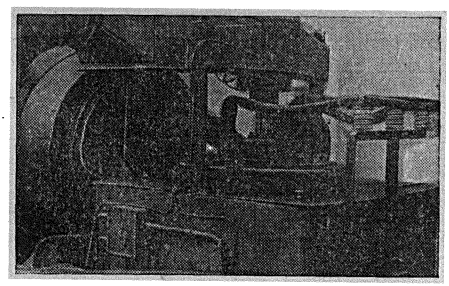
При расчленении опиливания на ряд последовательных операций, более тщательной наладки, применения плавного гидравлического давления и уменьшения шага зубьев опиловочных дисков может быть достигнута овальность шарика в пределах 0,01 *мм* и чистота поверхности по 6—7-му классу

На заводах, где применяется такое прецизионное опиливание, шарики после опиливания, минуя все последующие механические операции, поступают на закалку.

Электроопиливание (электромеханическая обработка). Электроопиливание имеет ограниченное применение для обработки после штамповки шариков диаметром от 9/16″ до 1 1/16″.

Эффективность электромеханической обработки тем больше, чем больший припуск нужно снимать с шариков.

Этот метод обработки отличается высокой производительностью, но в то же время имеет следующие недостатки: чрезвычайно большой шум; после электроопиливания получается пятнистая закалка шариков, для устранения которой обязательно необходим последующий высокий отпуск; высокую стоимость; снижение стойкости шариков по сравнению с предварительным шлифованием.



Фиг. 9. Станок для электромеханической обработки шариков мод. МШ-32-ЭМ.

Электроопиливание производится между двумя чугунными дисками на автоматизированных станках электромеханической обработки модели МШ-32ЭМ (фиг. 9 и 10).

Верхний неподвижный плоский диск разрезается на три сектора под углом 120°. Секторы изолируют один от другого и от планшайбы, на которой они монтируются, изоляционными прокладками. В центре верхнего диска имеется загрузочное отверстие. Нижний диск — сплошной с гладкой рабочей поверхностью — вращается со скоростью 420 об/мин.

К секторам верхнего диска подается напряжение в пределах 10—20 *в* от вторичной обмотки трехфазного трансформатора. Электрическая цепь верхнего диска через шарики, находящиеся между дисками, замыкается нижним вращающимся диском.

В точках касания шариков с дисками создаются значительные плотности тока. Благодаря относительному перемещению между шариками и дисками возникает большое число дуговых микроразрядов, размягчающих поверхность шариков и производящих вырывы частиц металла. Быстровращающийся нижний чугунный диск срезает частицы металла с поверхности шариков.

Для устранения перегрева шариков и дисков, а также для создания условий, обеспечивающих устойчивый дуговой разряд, в зону обработки подается обычная промышленная вода.

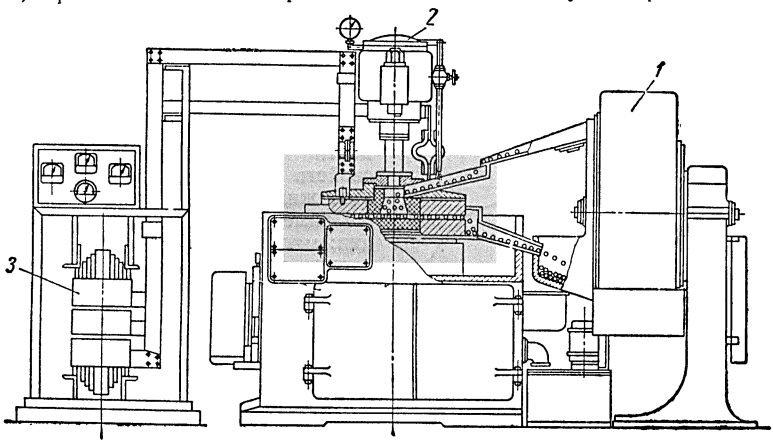
Чем меньше давление, меньше напряжение и больше скорость вращения нижнего диска, тем лучше качество шариков. Однако уменьшение давления и напряжения ведет к уменьшению производительности.

Предварительное шлифование. Для шариков диаметром от $^9/_{16}''$ и выше после штамповки и удаления облоя и полюсных выступов рационально применение предварительного шлифования на вертикальных станках, оснащенных автоматами питания (элеваторами).

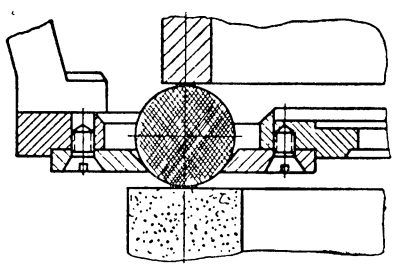
На этой операции шарики помещаются в кольцевой щели, образованной двумя стальными кольцами (фиг. 11), и располагаются между шлифовальным кругом и стальным нажимным кругом, которые вращаются вокруг смещенных вертикальных осей в противоположных направлениях с различными скоростями.

Шлифовальный круг (кольцо) применяют керамический корундовый зернистостью 46, размером 500 × 400 × × 100 *мм*.

Эта операция обеспечивает сравнительно высокую производительность (125 *кГ* в смену при съеме припуска до 0,9 *мм*), но шарики имеют большую гранность.



Фиг. 10. Схема установки для электромеханической обработки шариков: *1* — элеватор; *2* — станок для опиловки шариков МШ-32; *3* — трансформатор трехфазного тока 380/20—46—10—6 *в*, мощность 60 *квт*.

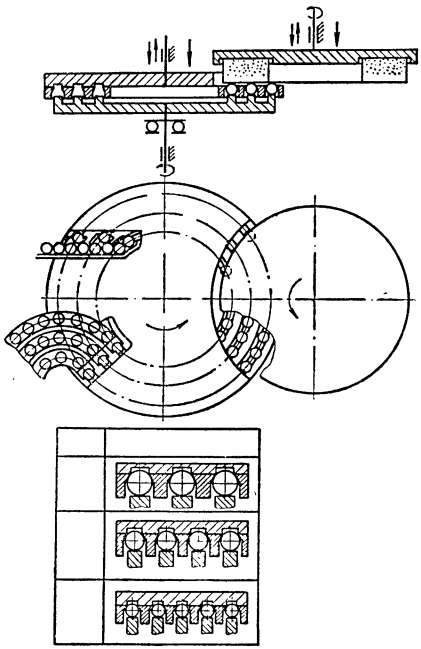


Фиг. 11. Применяемая схема обработки шариков на станках предварительного шлифования.

По сравнению с электромеханической обработкой предварительное шлифование на станках с автоматической загрузкой шариков имеет несомненное преимущество.

Это преимущество еще более увеличивается при применении автоматизированных станков предварительного шлифования новой модели, основанных на применении многоручьевой схемы шлифования и вертикального (по валу) автомата питания (фиг. 12).

По этой схеме шарики из магазина автомата питания направляются в междисковое пространство через окно в верхней планшайбе и по направляющим нижней планшайбы подводятся



Фиг. 12. Схема многоручьевого предварительного шлифования шариков.

в несколько рядов под быстровращающийся шлифовальный круг, а после прохождения под шлифовальным кругом через окно в верхней планшайбе снова поступают в магазин автомата питания. Общий вид станка этой новой модели показан на фиг. 13.

Шлифование. Для шлифования шариков диаметром от $^1/_8$″ до 2″ и даже до 4″ в массовом производстве принят способ обкатки на специальных вертикальных или горизонтальных шарошлифовальных станках по криволинейным траекториям между чугунным диском и шлифовальным кругом, вращающимся со скоростью от 3 до 7 *м/сек*. Шлифование шариков диаметром от $^1/_8$″ до $1^3/_8$″ производится на автоматах.

Для обработки особо крупных шариков применяют метод бесцентрового шлифования между двумя кругами, из которых меньший ведущий круг обеспечивает вращение шарика, а больший рабочий круг, вращаясь со скоростью 35—50 *м/сек*, производит его обработку.

Производительность шлифования по методу обкатки зависит от скорости вращения шлифовального круга (находится в пределах от 60 до 200 об/мин), его размеров (800 или 600 *мм*) и качественной характеристики, от давления, скорости и способа подачи шариков, от формы контакта круга с шариками, диаметра, равномерности, точности и твердости шариков, физико-химических свойств смазочно-охлаждающе-смывающей жидкости.

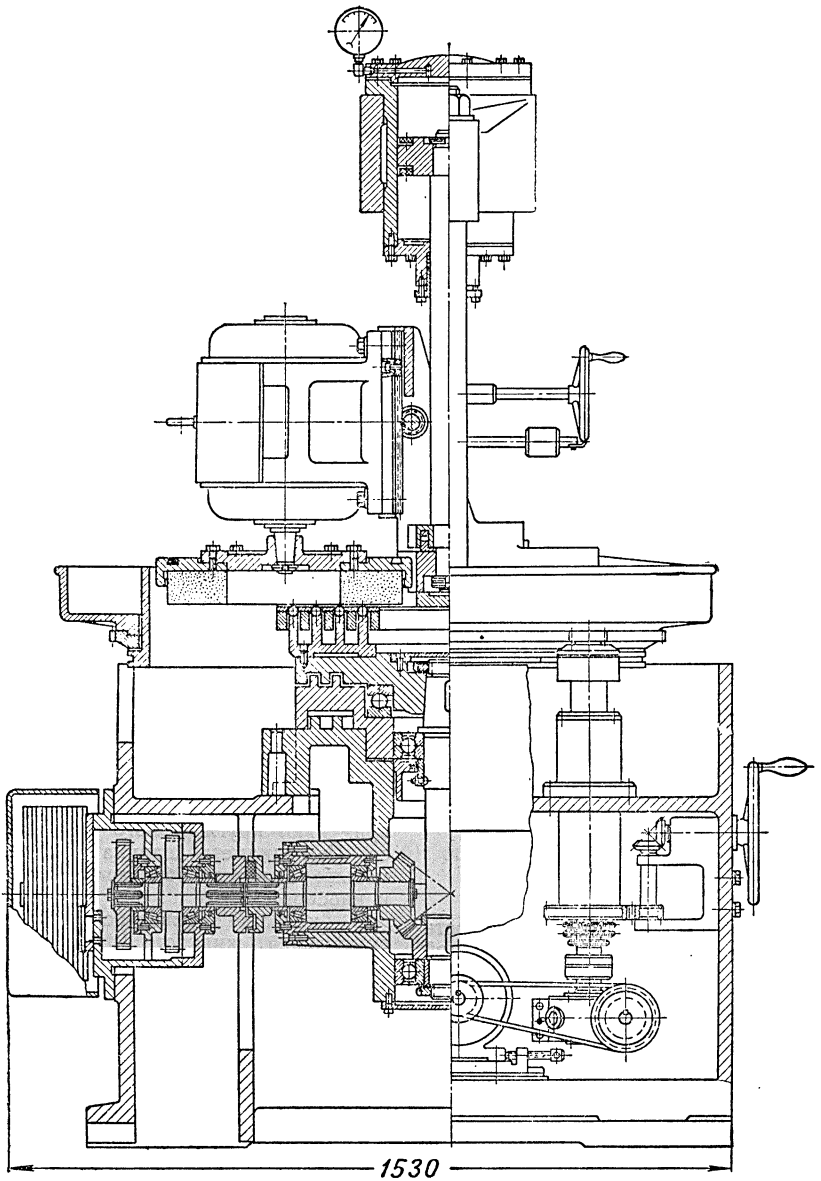
Применяют три шлифовальных операции: мягкое шлифование шариков до закалки, твердое шлифование после закалки и точное шлифование после твердого шлифования. Точное шлифование абразивным кругом, однако, применяют редко и обычно заменяют доводкой между чугунными дисками доводочной пастой. После точного шлифования или после доводки применяют полирование (фиг. 14).

Эти три операции шлифования отличаются между собой характеристикой абразивных кругов и режимами шлифования, а также точностью и чистотой поверхности обрабатываемых шариков, но принципиально по методу шлифования одинаковы.

Шарики из автомата питания (магазин, элеватор) по верхнему лотку катятся в распределительную коробку и затем на дорожки чугунного диска, на которых они вступают в контакт со шлифовальным кругом (фиг. 15). Качение шариков в междисковом пространстве по дорожкам диска и круга сопровождается их вращением. Процесс шлифования осуществляется в результате воздействия абразивных зерен, расположенных на поверхности дорожек шлифовального круга, на поверхность катящихся и вращающихся шариков, подвергающихся одновременно физико-химическому воздействию активированной смазочно-охлаждающе-смывающей жидкости.

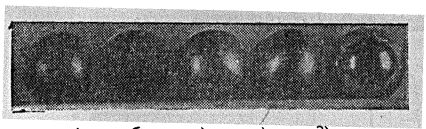
После выхода из междискового пространства шарики катятся по нижнему лотку в бункер и затем в отсеки (ковш) элеваторного колеса. На этом заканчивается первый цикл и начинается второй цикл обработки шариков и далее повторяется многократно.

Многократность циклов необходима для последовательного получения точ-



Фиг. 13. Общий вид многоручьевого станка предварительного шлифования шариков.

ности сферической формы шариков. При достаточно большом числе пробегов шарика между кругом и диском сеть

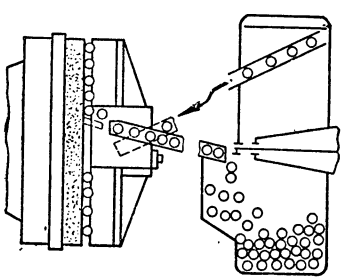


а) б) в) г) д)

Фиг. 14. Шарики после операций: *а* — мягкого шлифования; *б* — термической обработки, *в* — твердого шлифования; *г* — доводки; *д* — полирования.

траекторий профилирующих контактов равномерно покроет его поверхность, и сферичность шарика будет обеспечена с достаточной по техническим условиям точностью.

Рекомендуется обеспечивать максимальную экономическую точность размера загружаемых в станок шариков, так как выравнивание шариков идет тем



Фиг. 15. Схема шлифования шариков.

хуже, чем больше исходная разность размеров шариков обрабатываемой партии.

Кроме того, точность сферической формы шариков, предельно достигаемая в условиях полной равномерности густоты сети траекторий профилирующих контактов на поверхности шариков, зависит, помимо формы профиля дорожек диска, еще и от давления на шарики. Чем больше контактное давление, тем шире профилирующие контакты и больше глубина шлифования и, следовательно, тем скорее будет удален припуск. Но поскольку скорости качения и вращения шариков отличаются один от другого, отдельные диаметры шарика после каждого его пробега между диском и кругом будут отличаться тем сильнее, чем давление больше. Следовательно, при разноразмерных шариках нельзя применить большое давление. Загрузка в станок разноразмерных шариков снижает качество и уменьшает производительность шлифования. Разноразмерность шариков является также причиной резкого ухудшения теплового режима и вызывает структурные изменения на поверхности обрабатываемых шариков: штрихи и пятна вторичного отпуска и даже вторичной закалки.

Чем глубже дорожки шлифовального круга и чугунного диска, в пределах от нуля до $^1/_3$ диаметра обрабатываемых шариков, тем шарики имеют бо́льшую геометрическую точность и лучшую микрогеометрию поверхности, а процесс шлифования более производителен.

Для шлифования шариков применяют керамические круги ПП600 × 100 × × 290 *мм* и ПП800 × 100 × 290 *мм* твердостью ВТ1—ЧТ2 с зерном из электрокорунда нормального, электрокорунда белого и карбида кремния черного объемным весом от 3,0 (для мелких шариков) до 2,6 (для крупных шариков). Зернистость шлифовальных кругов необходимо применять в следующей последовательности: для мягкого шлифования 180, для первого твердого шлифования 230, для второго (точного) твердого шлифования 400. В случае отсутствия кругов различной зернистости применяют круги одной зернистости 230.

В зависимости от диаметра шариков применяют круги разного объемного веса. Чем диаметр шарика больше, тем меньше берется объемный вес круга и наоборот.

В качестве смазочно-охлаждающесмывающей жидкости применяют дизельное топливо, активированное однопроцентной присадкой фракции C_{17}—C_{20} синтетических жирных кислот. Активирование дизельного топлива присадкой фракции C_{17}—C_{20} обеспечивает значительное повышение производительности и качества шлифования.

Можно также применять водно-щелочные мыльные жидкости, которые равноценны дизельному топливу без активации.

Одна из возможных рецептур: 0,5% тринатрийфосфата; 0,25% нитрита натрия; 0,5% мыла (нафтенового, олеинового или другого аналогичного); остальное — вода.

Машинное время шлифования шариков определяется по формуле

$$T_м = C\frac{\Delta\varphi}{nP^{5/3}}d^{2/3}z,$$

где $T_м$ — машинное время на партию в сек.; C — коэффициент, учитывающий условия обработки шариков (твердость шариков, качество и характеристику шлифовальных кругов, влияние смазочно-охлаждающей жидкости); Δ — снимаемый припуск на сторону в *мм*; φ — точностной коэффициент (для шариков нормальной точности равен 1); n — число оборотов шлифовального круга в мин.; P — давление дисков в *кГ*; d — диаметр шариков в *мм*; z — число шариков в партии.

Определение машинного времени на партию для операции шлифования шариков на станках завода им. Седина с элеватором емкостью 60 *кГ*, встроенным в станину, керамическими шлифовальными кругами ПП 600 × 100 × 290, ЕКЧ-230, ЧТ ЛАЗ при максимальном давлении 5 *т* и применении в качестве смазочно-охлаждающей жидкости керосина без дополнительной активации может производиться по упрощенным эмпирическим формулам:

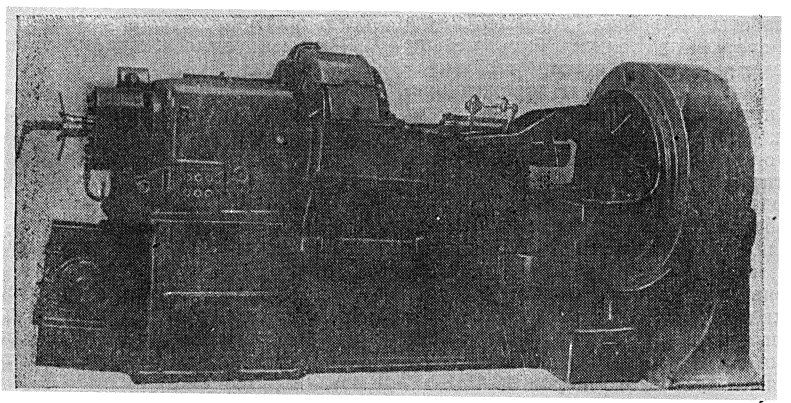
а) для мягкого шлифования незакаленных шариков

$$T_м = 6{,}1\frac{\Delta}{n}d^{2{,}5}z;$$

б) для твердого шлифования закаленных шариков

$$T_м = 10{,}4\frac{\Delta}{n}d^{2{,}5}z.$$

Для операции шлифования шариков на шарошлифовальных станках МСЗ мод. МШ-33 керамическими кругами ПП800 × 100 × 290, ЭКЧ-230, ЧАЗ и при применении в качестве смазочно-охлаждающей жидкости дизельного топлива, активированного присадкой синтетических жирных кислот фракции C_{17}—C_{20}, могут применяться упрощенные эмпирические формулы определения машинного времени на партию, аналогичные



Фиг. 16. Шарошлифовальный станок МСЗ мод. МШ-33.

предыдущим, но с другими коэффициентами:

а) для мягкого шлифования

$$T_м = 0{,}9\frac{\Delta}{n}d^{2{,}5}z;$$

б) для твердого шлифования

$$T_м = 1{,}5\frac{\Delta}{n}d^{2{,}5}z.$$

Необходимо отметить, что вследствие нестабильности качества шлифовальных кругов коэффициенты в приведенных формулах могут колебаться. При хорошем качестве кругов они могут соответственно равняться 0,5 вместо 0,9 для мягкого шлифования и 0,8 вместо 1,5 для твердого шлифования.

Из числа разнообразных моделей применяемых шарошлифовальных станков станки модели МШ-33 (фиг. 16) являются наиболее прогрессивными и производительными.

Заливка шлифовального круга в планшайбе станка МШ-33 производится свинцом или его заменителями (серой, цинком, карбинольным клеем).

Допускается механическое крепление круга в специальной планшайбе.

Правка установленного на станке круга производится или шарошками или шариками посредством специального приспособления.

Разрушение перегородок между дорожками и связанное с ним разрушение дорожек круга не допускается.

Круг с трещинами или раковинами на дорожках, обнаруженными при правке или в процессе шлифования, непригоден для работы. Глубина дорожек круга после правки не должна быть меньше $^1/_8$ диаметра шарика, потому что уменьшение начальной глубины дорожек приводит к повышенной гранности шариков.

Диск отливается из высокосортного перлитового чугуна, без грубых участков цементита.

Твердость чугунного диска *НВ* 180—220. Бо́льшая твердость диска приводит к повышенной гранности.

Для нормальной работы станка большое значение имеет состояние рабочей поверхности чугунного диска: правильное изготовление «заходов», отсутствие раковин на дорожках, концентричность и одинаковая ширина дорожек.

Неконцентричность и неодинаковая ширина (и, следовательно, глубина) дорожек диска нарушают равномерный съем металла с обрабатываемых шариков.

Распределительная коробка станка состоит из корпуса, собственно распределителя и собирательной пластины.

Направление шариков в дорожки шлифовального круга и чугунного диска осуществляется направляющими пластинами распределителя и секциями распределительной гребенки. Гребенки различаются по типам в зависимости от диапазона диаметров обрабатываемых шариков.

Ширина собирательной пластины выбирается в соответствии с диаметром обрабатываемых шариков по табл. 16.

16. Ширина собирательной пластины

Диаметр шарика в дюймах	Ширина пластины в *мм*
$^5/_{32}$	33
$^1/_4$	34
$^5/_{16}$	35
$^3/_8$	36
$^1/_2$—$^9/_{16}$	40
$^{11}/_{16}$—$^3/_4$	42
$^7/_8$	44,5
1	47
1 $^1/_8$—1 $^1/_4$	50

Глубина лунок собирательной пластины не должна превышать 1 *мм* для шаров до $^3/_4''$ и 2 *мм* для шаров от $^3/_4$ до $1^1/_2''$.

На шарошлифовальном станке МШ-33 обработка шариков производится партиями в пределах от 100 до 400 *кГ*.

Перед шлифованием шарики сортируются. Допуск на равномерность не должен превышать для мягкого шлифования 0,05 *мм* (рекомендуется 0,02 *мм*); твердого — 0,02 *мм* (рекомендуется 0,005 *мм*).

Рекомендуемая скорость шлифовального круга:

для шариков $^1/_4$—$^3/_4''$ при мягком шлифовании 153, твердом шлифовании 125 об/мин;

для шариков $^3/_4$—$^7/_8''$ при мягком шлифовании 125, твердом шлифовании 102 об/мин;

для шариков $^7/_8$—$1^1/_{16}''$ при мягком шлифовании 102, твердом шлифовании 82 об/мин.

Число оборотов элеватора берется в соответствии с выбранным числом оборотов шлифовального круга для определенного диаметра шарика (табл.17).

17. Число оборотов элеватора

Размеры шарика в дюймах	Число оборотов в мин.	
	шлифовального круга	элеватора
До $^1/_4$	82	0,4
	102	0,4
	125	0,4
	153	0,7
	189	0,7
$^1/_4$—$^3/_4$	82	0,7
	102	0,7
	125	1,2
	153	1,2
	189	1,2
$^3/_4$—1 $^1/_4$	63	1,2
	82	1,2
	102	1,2
	125	1,4
	153	1,4

Подачу шариков к кругу регулируют установкой верхнего выдвижного лотка по отношению к окнам элеватора для захвата большего или меньшего количества шариков. С увеличением диаметра обрабатываемых шариков подаваемое количество их к кругу уменьшается.

Давление прижимного чугунного диска устанавливают регулировочным кла-

паном по указаниям манометра. В начале обработки партии шариков, когда их разнообразность наибольшая, давление прижимного диска устанавливают равным 2 *кГ/см*^{2}.

По истечении некоторого времени работы станка, когда разноразмерность шариков уменьшается до нескольких микрон, давление плавно доводится до 7 *т*. При этом давлении производится снятие почти всего припуска с обрабатываемых шариков.

Когда оставшийся припуск составит не более 0,02 *мм* на диаметр шарика, давление плавно снижается.

Выгрузку шариков производят после того, как геометрия и качество поверхности их будет соответствовать техническим условиям.

Обработка между чугунными дисками. Обработка между чугунными дисками является наиболее универсальной операцией обработки шариков.

Этот метод можно применять после опиливания вместо мягкого шлифования, и после закалки вместо твердого шлифования, а также для доводки.

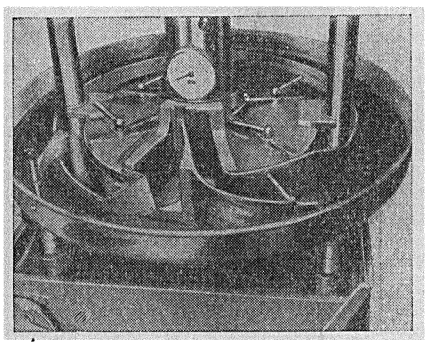
Во всех этих случаях принципиальный характер процесса остается одинаковым и соответствует изложенному в разделе шлифования. Меняются только режимы и абразивные материалы или пасты. Обработка ведется между двумя чугунными дисками (из которых один или оба имеют концентрические желоба — канавки различного профиля: полусферического, V-образного с углом 90, 72, 60° и пр.). Другие схемы обработки, в частности тремя дисками, практического применения в промышленности не получили.

Для обработки шариков между чугунными дисками могут применяться те же станки, что и для шлифования, например мод. МШ-33, но более рациональными являются вертикальные станки мод. ШД-20, в особенности оснащенные автоматами питания вертикального типа.

Обработка шариков после закалки может осуществляться на поточной автоматической линии, состоящей из станков последней модели (т. е. с автоматами питания вертикального типа, считая по оси вращения, представленной на фиг. 18), моечных машин и промежуточных магазинов.

Чугунные диски должны удовлетворять тем же требованиям, какие указаны для них на операции шлифования.

Элеваторную доводку шариков нормальной точности производят пастами. Одной из рекомендуемых рецептур является паста следующего состава: 60% абразивного порошка; 15% дизельного топлива; 15% веретенного масла; 10% синтетических жирных кислот фракции C_{17}—C_{20}.



Фиг. 17. Автомат питания вертикального типа шародоводочного станка.

В зависимости от требуемой поверхности применяется разная зернистость абразивного порошка: 230, 280, 320, М28, М20.

После обработки шарики промывают в дизельном топливе или в керосине.

Для правильного ведения процесса особое значение имеет равномерность загружаемых шариков.

Доводка обеспечивает получение высокого качества шариков.

Полирование. Полирование шариков может производиться на обычных шародоводочных станках, особенно если эти станки оснащены автоматами питания.

Но более распространено полирование в барабанах с грушевидными чугунными или стальными чашами (фиг. 19).

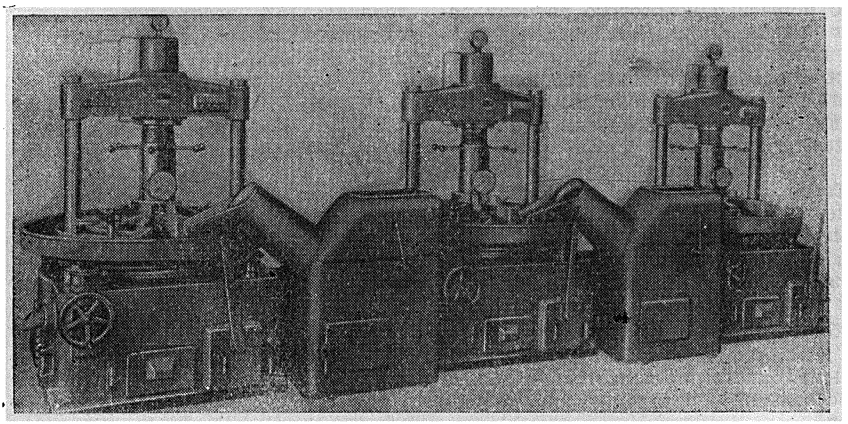
В чашу барабана загружают чистые промытые шарики или одного размера или трех размеров: крупные, средние и мелкие. Общий вес загружаемых шариков 240—280 *кГ*.

После загрузки шариков в барабан засыпается полированная известь в количестве 13 *кГ* и наливается 40 *л* воды.

В течение 15 мин. барабан остается без вращения, а затем после растворения извести и получения сметанообразной массы ему дается вращение при 45 оборотах в минуту и угле наклона оси чаши барабана 45°. Продолжитель-

ность процесса полирования зависит от качества извести, качества материала чаши и требуемой шероховатости прошлифованной поверхности шариков.

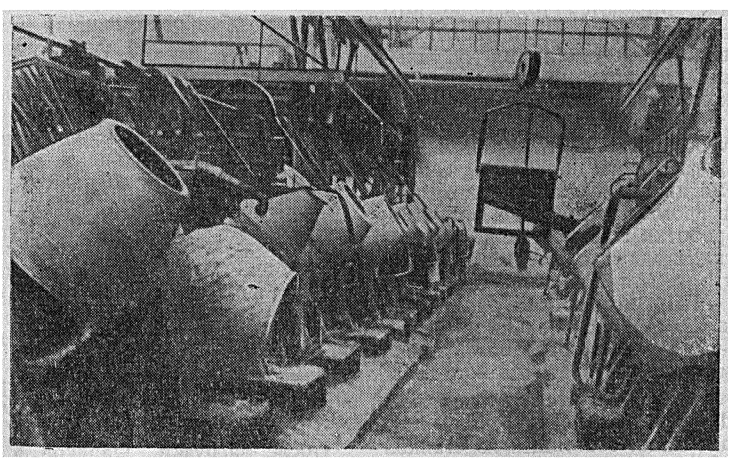
кристаллическая сода в количестве 2%, и промывка шариков продолжается еще 3 мин. После выгрузки шарики промывают в 2%-ном мыльном растворе.



Фиг. 18. Поточная, автоматическая линия для обработки шариков после закалки, составленная из шародоводочных станков с автоматами питания вертикального стола и промежуточных моющих машин.

Нормально партия шариков полируется 18 час. Полированием может быть обеспечена шероховатость поверхности по

На механизированных участках отполированные шарики выгружаются в бункер, который опускается сначала в ван-



Фиг. 19. Механизированный участок полировальных барабанов с грушевидными чашами для полирования шариков.

11—12-му классу. По окончании полирования шарики промывают струей проточной воды во вращающемся барабане в течение 10—15 мин. до осветления раствора. Затем в барабан засыпается

ну с содовым раствором, а затем в ванну с 2%-ным горячим мыльным раствором.

Полировальная известь изготовляется из доломитных известняков специаль-

ным обжигом их при температуре 1000—1100° до полного разложения карбонатов.

В случаях, когда шарики поступают на полирование с изношенной структурой поверхностного слоя перед полированием известью, проводят операцию полирования известью с абразивным порошком.

Режимы и порядок обработки остаются те же, только добавляется 400 *Г* абразивного порошка М14.

Перед окончательным контролем шарики полируют обрезками кожи сорта шевро или хром. Полирование кожей производят в барабанах с деревянными чашами емкостью 20 *кГ* в течение 30 мин.

Особенности изготовления шариков высоких степеней точности

Изготовление шариков нулевой и первой степени точности для особо учитываемых подшипников, а также приборных шариков, отличается от производства шариков нормальной точности:

а) более повышенными требованиями к качеству металла (в основном к чистоте металла);

б) более жесткими операционными техническими условиями, а также запрещением применять горячую поперечную прокатку и электромеханическую обработку;

в) применением дополнительной операции — окончательной доводки тонкими доводочными пастами.

Окончательную доводку шариков высокой точности производят между чугунными дисками на вертикальных шародоводочных станках типа ДПШ, ВШ-32, ЭНИИПП-35, ДШ-20 и др.

Отливка чугунных доводочных дисков производится методом центробежного литья из высококачественного серого перлитового чугуна.

Основным требованием к отливкам является получение следующей микроструктуры:

а) основная масса структуры — мелкопластинчатый перлит. Выделение феррита не более 20%;

б) выделение графита должно быть в виде мелких завихренных чешуек;

в) фосфоритовая эвтектика в виде отдельных мелких включений.

Химический состав отливок: С — 3,0%; Mn — 0,6%; Si — 1,7 до 2,3%; P — 0,4—0,6%; S — 0,03%.

Твердость отливки в пределах *НВ* 180—220.

Чугун должен быть плотным, без раковин, пористости и других дефектов, видимых невооруженным глазом на поверхности обточенных дисков.

Комплект состоит из двух доводочных дисков: нижнего с нарезанными кольцевыми дорожками и верхнего с дорожками, полученными прокаткой шариками.

Диски обтачиваются и нарезаются на токарно-лобовом станке с большой точностью.

Поверхность нарезанных дорожек должна быть чистой и ровной, без раковин, вырывов от резца и дробления. Шероховатость поверхности должна соответствовать 6б-7а классу по ГОСТ 2789-59.

После обточки производят прикатку дорожек дисков.

Для прикатки применяют полированные разноразмерные шарики: $^1/_3$ шариков данного диаметра и $^2/_3$ шариков диаметром на 10—15 *мк* меньше. Все шарики тщательно перемешивают, хорошо промывают в трех бачках с бензином Б-70 и укладывают сплошными рядами в 8—12 дорожек, оставляя на каждой дорожке просвет в $^1/_4$ диаметра дорожки, а затем равномерно распределяют по всей окружности дорожек.

На шарики наливают около 200 *см*^{3} веретенного масла 2 (до полного заполнения всех дорожек), а затем опускают верхний диск, пускают в ход станок и устанавливают давление, величина которого должна быть равной половине рабочего давления, нормального для данного станка.

После двухчасовой прикатки станок останавливают, шарики со всех дорожек выгружают в одну банку, а диски тщательно промывают бензином Б-70 и протирают конденсаторной бумагой. Затем выгруженные шарики, промытые бензином, загружают вновь на все дорожки, наливают на них вновь 200 *см*^{2} веретенного масла 2, и станок пускают еще на 2 часа при тех же условиях.

Общая продолжительность прикатки составляет 4—8 час. в зависимости от качества и свойств чугунных доводочных дисков, но может быть и несколько меньше.

После правильно проведенной обкатки на верхнем диске должны быть видны хорошо приработанные дорожки с одним следом от шариков, которые были

уложены на все прирабатываемые дорожки нижнего диска; затем шарики выгружают, диски тщательно промывают, и станок загружают шариками, предназначенными для пробной доводки.

Производить прикатку шариками, предназначенными для обработки, допускается только для шариков первой степени точности.

Для окончательной доводки применяют специальные тонкие доводочные пасты разных рецептур.

Веретенное масло и олеиновая кислота перед употреблением подвергаются подогреву до 100—110° и затем отстаиваются в течение не менее 4 час.

Для приготовления пасты отвешивают 100 *Г* просеянной технической окиси алюминия и 100 *Г* гидрата окиси алюминия и загружают их в шаровую мельницу, в которую заливают 300 *см*³ веретенного масла 2 и кладут 1 *кГ* шариков диаметром $^1/_8$ и $^7/_{32}$″. Шарики желательно применять из твердого сплава ВК8 или ВК6.

Размельчение смеси производится в течение 4-х час. при скорости вращения 50—60 об/мин. Полученная смесь выгружается и освобождается от шариков. В чистую, промытую бензином, посуду емкостью 5 *л* загружают полученную смесь и добавляют до 5 *л* — веретенного масла 2 и 50 *см*³ олеиновой кислоты.

Все содержимое тщательно взбалтывается до получения однородной смеси без осадка. После взбалтывания паста отстаивается в течение 4 час. и затем аккуратно с помощью сифона сливается во вторую посуду с таким расчетом, чтобы на дне первой над выпавшим плотным осадком оставался слой веретенного масла толщиной 20 *мм*.

Перед закладкой на дорожки пасту необходимо тщательно взбалтывать до тех пор, пока на дне посуды не останется никакого осадка.

Для увеличения съема припуска и создания условий получения отличного качества поверхности к стандартной пасте перед заливкой на станок добавляется порошок электрокорунда М3 или М1.

Стандартный порошок электрокорунда М3 перед употреблением для целей доводки шариков должен быть подвергнут специальной обработке по отмучиванию. Порция порошка М3 в количестве 5 *Г* растирается в ступке с добавлением 5 *см*³ олеиновой кислоты до получения однородной сметанообразной массы без комков. Растертый электрокорунд М3 разбавляется веретенным маслом до 600 *см*³ и тщательно взбалтывается в стеклянной литровой банке. Полученная смесь сливается в стеклянный цилиндр высотой 380 *мм* диаметром 45 *мм* и ставится на отстой. Отстой продолжается 6 час. После отстоя с помощью пипетки из цилиндра аккуратно отбирается последовательно 5 фракций по 100 *см*³ каждая. Каждая фракция обозначается соответствующим номером с № 1 по № 5. Рекомендуется одновременно ставить на отстой не менее пяти цилиндров, сливая в одну банку из всех цилиндров однозначные фракции.

Корундовая присадка добавляется к стандартной пасте в количестве 5—20 *см*³ на 150 *см*³ пасты.

Хорошие устойчивые результаты дают доводочные пасты на основе окиси хрома.

В начале доводки применяется паста следующей рецептуры: 95% веретенного масла; 3% окиси хрома (химически чистой); 2% олеиновой кислоты.

Для повышения производительности содержание окиси хрома можно увеличить до 12%.

Окись хрома предварительно просушивается и измельчается в шаровой мельнице. Полезно измельчение производить в герметически закрытом барабане большой массой шаров разных диаметров ВК-8 или ВК-6. Объем мелющих шаров должен быть значительно больше объема измельчаемой окиси хрома.

Заканчивают окончательную доводку шариков пастой в составе веретенного масла и 1% окиси хрома. Окись хрома должна быть измельчена до такой степени, чтобы она не осаждалась и придавала веретенному маслу нежный светло-зеленый цвет.

При обработке шариков мелких размеров к предварительно нагретой пасте полезно дополнительно добавить растолченный парафин в количестве до 3%.

Особенности восстановления шариков из демонтированных подшипников

Отработанные шарики из демонтированных подшипников вновь применяют в ремонтных подшипниках после восстановления по специальному технологическому процессу, основанному на применении электролитической обработки шариков водным раствором медного купороса с последующей шлифовкой и

полировкой. Шарики из демонтированных подшипников, не подвергаясь отжигу, обрабатываются в барабане с опилками, сортируются, снова обрабатываются в барабане, еще раз сортируются, затем обрабатываются водным 20%-ным раствором медного купороса, проходят абразивную обработку в барабанах, твердое шлифование на станках МШ-33 и полирование в барабанах.

Сущность процесса обработки шариков водным 20%-ным раствором медного купороса заключается в замещении железа медью в результате реакции

$$Cu\,SO_4 + Fe \rightarrow Fe\,SO_4 + Cu,$$

при этом сернокислое железо переходит в раствор, а медь осаждается на поверхности шариков. При последующей абразивной обработке таких шариков производительность увеличивается, а время обработки уменьшается почти в 2 раза.

Другой вариант технологического процесса восстановления отработанных шариков заключается в их отжиге, электроопиливании, высоком отпуске после электроопиливания, мягком шлифовании, закалке, отпуске, твердом шлифовании, полировании.

ПРОИЗВОДСТВО ШАРИКОВ ИЗ ДРУГИХ МЕТАЛЛОВ

Шарики из других марок стали, помимо стали ШХ, обычно изготовляют по аналогичным технологическим процессам, но холодная штамповка часто заменяется горячей штамповкой.

Например, заготовки шариков 25/32″ из стали ШХ выполняют методом холодной штамповки, а для заготовок шариков 25/32″ из теплостойких марок стали Р18, ЭИ347 и аналогичных рекомендуется горячая штамповка на горизонтально-высадочных автоматах по следующему режиму:

1) подогрев металла в первой электропечи до температуры 800°, скорость нагрева 1 мин. на 1 *мм* сечения;

2) нагрев металла во второй электропечи с температуры 800° до 930 $^{+10°}$;

3) горячая штамповка на горизонтально-высадочном прессе типа А148;

4) охлаждение штампованных шариков в печи одновременно с остыванием последней;

5) отжиг шариков перед механической обработкой.

Для окончательной доводки шариков из теплостойких марок стали рекомендуется к обычным рецептурам доводочных паст добавлять в количестве 1% микропорошок карбида бора М3 или М1.

При окончательной доводке обязательно применение деревянных шариков в качестве прокладки.

Миниатюрные шарики из бериллиевой бронзы марки Бр. Б-2 изготовляют по следующему технологическому процессу.

1. Рубка проволоки на цилиндрики с высотой цилиндра, равной его диаметру, или холодная штамповка.

2. Механическое машинное опиливание плоскими опиловочными дисками на вертикально-опиловочном станке.

Опиловочные диски применяют из закаленной стали ШХ15; диаметр дисков 330, 315, 250, 150, 100 *мм* в зависимости от диаметра шариков. С уменьшением диаметра шариков уменьшается и диаметр дисков. Шаг зубьев соответственно 0,5; 0,3; 0,1 и 0,05 *мм*.

Миниатюрные шарики можно также изготовлять из заготовок шариков $^1/_{16}$″, которые опиливаются весьма просто, качественно и производительно. Некоторое увеличение расхода металла компенсируется резким облегчением производства инструмента и возможностью применять обычные вертикальные шароопиловочные станки типа 1ГПЗ — ШОБ, типа завода им. Серго Орджоникидзе, вертикальные станки с вертикальным автоматом питания типа ЭНИИПП-15А.

3. Обработка незакаленных шариков между чугунными дисками на вертикальном шародоводочном станке («мягкая» доводка).

Станок должен быть прецизионным и иметь плавный ход. Число оборотов вращающегося диска рекомендуется от 40 до 60 об/мин. Допускается применение дисков диаметром от 250 до 400 *мм*. Минимальный размер обрабатываемых шариков 0,5 *мм*. Нижний вращающийся диск имеет нарезанные концентрические канавки V-образного типа с углом 72 или 90°.

Верхний плоский диск — неподвижный с окном для перемешивания шариков.

Обработка производится пастой, приготовленной по следующей рецептуре: 5% окиси хрома (порошок М-7) и 95% веретенного масла 2.

Окись хрома берется очень нежного светло-зеленого цвета, приготовленная из бихромата калия (77% по весу) смешанного с серой (23% по весу) и дважды

нагретого до 600° (до полного удаления избыточной серы).

4. Термическая обработка. Закалка при температуре 775 $\pm 5^{\circ}$ с погружением в воду комнатной температуры на 30 мин. Отпуск при температуре 325° с выдержкой в течение 2 час. Твердость после отжига *HRC* 40.

5. Твердая доводка закаленных и отпущенных шариков между текстолитовыми дисками; на прецизионном шародоводочном станке.

Станок должен иметь плавный, без толчков, ударов и значительных вибраций, бесшумный ход. Число оборотов нижнего диска от 20 до 40 в минуту.

Диски изготовляют из текстолита марки ПТ по ГОСТ 5-52. Диаметр дисков 150 *мм*. Верхний плоский диск с окном — для перемешивания шариков.

На нижнем диске нарезают концентрические дорожки.

Пасту применяют аналогичную указанной, но окись хрома имеет величину зерна 5 *мк* (порошок М5).

6. Точная чистовая доводка закаленных и отпущенных шариков между текстолитовыми дисками на прецизионном шародоводочном станке производится аналогично твердой доводке, отличаясь от нее только более жесткими требованиями к точности станка и дисков.

Пасту изготовляют по той же рецептуре, но окись хрома имеет величину зерна 3 *мк* (порошок М3).

7. Окончательная доводка шариков между текстолитовыми дисками на особо точном шародоводочном станке.

Окончательная доводка производится аналогично твердой и точной чистовой доводке, отличаясь от них еще более жесткими требованиями к точности станка и дисков.

Пасту приготовляют по той же рецептуре, но окись хрома имеет величину зерна 1 *мк* (микропорошок М1) и, кроме того, добавляют керосин.

Особая тщательность и точность требуется при доводке шариков диаметром менее 0,35 *мм*.

Плоскости торцов текстолитовых доводочных дисков шлифуются на плоскошлифовальном станке со специальными прижимами.

Производство миниатюрных шариков ведется с применением увеличительных стекол и луп.

Рабочее место освещается специальными лампами.

ОБРАБОТКА ШАРИКОВ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Шарики из твердых сплавов находят все большее применение, в особенности марок ВК8 и ВК6, отличающихся жаропрочностью, высокой твердостью и большим удельным весом.

Твердый сплав ВК8 содержит 92% карбида вольфрама, 8% кобальта, имеет удельный вес 14,4—14,8 и твердость не менее HR_A 87,5.

Твердый сплав ВК6 содержит 94% карбида вольфрама, 6% кобальта, имеет удельный вес 14,6—15,0 и твердость HR_A 88,0.

Заготовительные операции осуществляют на комбинате твердых сплавов в соответствии с принятой технологией (см. соответствующие руководства по производству твердых сплавов и прессованных изделий из них).

Из твердых сплавов изготовляют шарики диаметром от 3 до 35 *мм*.

Заготовки должны удовлетворять следующим техническим условиям: разноразмерность не более 2%; овальность не более 1%.

Вздутие, отслаивание, пузыри, раковины, трещины недопустимы. Припуск на обработку составляет от 0,8 до 2,5 *мм* в зависимости от диаметра шариков. Механическая обработка производится на вертикальных шарообрабатывающих станках.

Технологический процесс обработки следующий.

1. Предварительное шлифование шлифовальным кругом КЗ-46 в водной среде.

2. Шлифование шлифовальным кругом КЗ60 в 16%-ном водном растворе медного купороса $CuCO_4$ (применяется при большом припуске на обработку).

Металлический кобальт, входящий в состав твердого сплава, растворяется в медном купоросе, вытесняя из него медь, поскольку кобальт является электроотрицательным, а медь электроположительным металлом. Шарики покрываются сплошным тонким слоем меди, которая легко сошлифовывается шлифовальным кругом.

Процесс шлифования твердосплавных шариков в водном растворе медного купороса заключается в последовательном чередовании процессов растворения кобальтовой связи твердого сплава и образования медного слоя на поверхности шариков с процессом сошлифования

этого медного слоя, имеющего твердость *HB* 40 против твердости сплава ВК6, равной *HB* 1750 при 20°.

3. Точное шлифование шлифовальным кругом КЗ-80 в среде дизельного топлива.

4. Доводка между чугунными дисками доводочной пастой следующей рецептуры: 70% веретенного масла 2; 10% парафина; 20% микропорошка карбида бора М5.

5. Окончательная доводка между чугунными дисками доводочной пастой следующей рецептуры: 98% веретенного масла, 1% алмазного микропорошка М3 или М1, 10% парафина. Можно также применять пасту, состоящую из 99% веретенного масла, 1% алмазного микропорошка М1.

После окончательной доводки алмазной доводочной пастой обеспечивается шероховатость поверхности по 13-му классу и овальность в пределах 0,3—0,5 *мк*.

При шлифовании вращающийся шлифовальный круг располагается сверху. Шарики укладывают в концентрических канавках нижнего чугунного диска. При доводке чугунные диски также должны иметь концентрические канавки.

ОБРАБОТКА ШАРИКОВ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

Число марок пластмасс, применяемых для изготовления шариков, весьма велико и продолжает увеличиваться.

Для каждой марки пластмассы технологический процесс обработки шариков отличается теми или иными особенностями. Шарики из пластмасс обрабатывают на шарообрабатывающих станках общего типа. Рекомендуется применять вертикальные станки.

Для примера приводятся технологические процессы обработки шариков из некоторых марок пластмассы.

Технологический процесс обработки шариков из тефлона

Тефлон или фторопласт-4 представляет собой полимер тетрафтороэтилена. По внешнему виду изделия из фторопласта-4 имеют белую окраску и напоминают парафин.

По химической стойкости фторопласт-4 превосходит все известные материалы, в том числе золото и платину.

Шарики из тефлона применяют в качестве клапанов в химической аппаратуре для производства различных кислот и других агрессивных сред.

Заготовки изготовляют таблетированием мелкодисперсного порошка на холоде при удельном давлении 300—350 *кГ/см*^{2}, спеканием в свободном состоянии формованных образцов при температуре 375° и последующим охлаждением.

Для обработки шариков из тефлона применяют механическое опиливание плоскими опиловочными дисками на вертикальных шароопиловочных станках.

Опиловочные диски берутся из незакаленной стали ШХ15 с прямыми зубьями, нарезанными с шагом 0,5; 0,3; 0,1 *мм*. Обработка производится в водной среде между опиловочным диском и текстолитовым диском с концентрическими канавками.

Технологический процесс обработки шариков из пластмассы

Заготовки из пластмассы, изготовленные на основе модифицированной фенольно-формальдегиновой смолы со специальным наполнителем, получают методом прессования.

Механическая обработка проводится в четыре операции:

а) удаление облоя (на наждачном, токарном, абразивном или другом аналогичном станке);

б) механическое опиливание на вертикальном шароопиловочном станке;

в) шлифование между двумя шлифовальными кругами марки ГБ ЭБМ28 на вертикальном станке;

г) доводка (или полирование).

Глава XX

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РОЛИКОВ

Ролики различаются по форме, размерам, точности и качеству поверхности.

По форме ролики делятся на конические, цилиндрические и сферические (бочкообразные). Цилиндрические различаются на цилиндрические без цапф, цилиндрические с цапфами, витые, игольчатые карданные и со сферическими торцами.

Цилиндрические ролики применяют короткие $L < 2D$ и длинные $L > 2D$.

Сферические ролики применяют симметричные и несимметричные.

Конические и короткие цилиндрические ролики изготовляют трех степеней точности.

I степени — для подшипников классов точности С и СА.

II степени — для подшипников классов точности А, АВ, В и ВП.

III степени — для подшипников классов точности П, Н.

Остальные ролики изготовляют по нормальному классу точности или по специальным техническим условиям.

По шероховатости поверхности ролики изготовляют нормальные и с уменьшенной высотой неровностей.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНИЧЕСКИХ РОЛИКОВ

Наиболее ответственными у конических роликов являются поверхности — коническая и базового торца.

Между этими поверхностями существуют взаимосвязи, которые регламентируются техническими условиями, приведенными в табл. 1. Выполнение технических условий по наиболее важным параметрам: углу конуса, овальности конусной поверхности, а также полное биение опорного торца достигаются при последовательном выполнении ряда технологических операций.

Принцип совмещения технологической и контрольной базовой поверхности удовлетворяется автоматически при шлифовании конической поверхности роликов на бесцентрово- и торце-шлифовальных станках. Бесцентровое шлифование конической—главной рабочей — поверхности производится обычно в три операции: предварительное, чистовое и окончательное шлифование.

Для обеспечения технических условий по чертежу и по табл. 1, 2 штампованные заготовки обрабатывают по следующему маршруту типового технологического процесса.

1 Штамповка или токарная обработка заготовки.

2. Оболтка заусенцев.

3. Шлифование конической поверхности.

4. Шлифование торцов.

5. Закалка и отпуск. Очистка от окалины.

6. Предварительное шлифование конической поверхности.

7. Проверка роликов на обезуглероженный слой.

8. Шлифование торцов.

9. Чистовое шлифование конической поверхности.

10. Окончательное шлифование конической поверхности.

11. Промывка и просушка.

12. Контроль по внешнему виду.

13. Контроль и сортировка по размерам.

14. Промывка и смазка.

15. Упаковка.

Примечания. Для роликов, изготовляемых по специальным ТУ, производятся дополнительно следующие операции:

1) для роликов диаметром более 20 *мм* — шлифование фаски;

2) травление;

3) дополнительный отпуск;

4) полирование или доводка главной и вспомогательной рабочих поверхностей.

Штамповка заготовки

Наиболее экономичен и прогрессивен метод получения заготовки для конического ролика холодной штамповкой.

1. Допускаемые отклонения геометрических параметров в *мк*

Конические ролики

Номинальный диаметр роликов в *мм*	Овальность			Гранность			Полное биение опорного торца			Угол конуса		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
До 18	0,5	1,5	3	1,5	3	9	7	10	15	± 1	± 2	± 3
18—30	0,8	2	4	2,5	4,5	12	10	15	20	± 1,5	± 3	± 4
30—50	1,5	2	4	4,5	6	12	12	15	25	± 2	± 4	± 5

Цилиндрические короткие ролики

Номинальный диаметр роликов в *мм*	Овальность			Гранность			Полная неперпендикулярность торцов к образующей		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
До 10	0,3	0,5	1	1	1,5	3	6	6	8
10—18	0,3	0,5	1	1	1,5	3	8	8	10
18—30	0,5	1,0	1,5	1,5	3	4,5	10	10	15
30—40	1	1,5	2	3	4,5	6	12	12	18
40—50	1	1,5	2	3	4,5	6	15	15	25

Бочкообразные ролики нормального класса

Номинальный диаметр роликов в *мм*	Овальность	Гранность	Биение опорного торца	Положение сечения с наибольшим диаметром относительно опорного торца	Радиус образующей дорожек качения
До 18	2	5	8	± 90	+ 5
18—25	2,5	7	10	± 90	+ 5
25—30	2,5	7	10	± 90	+ 4
30—50	2,5	8	12	± 90	+ 4
50—70	3,5	11	22	± 90	+ 4

2. Класс чистоты поверхностей роликов
(по ГОСТ 2789-59)

Тип	Поверхность	Класс точности подшипников			
		Н и П		А и В	
		Диаметр роликов			
		До 30	30-80	До 30	30-80
Конические	Качения .	9	9-8	10	10—9
	Торца .	8	8	9	9—8
Цилиндрические короткие	Качения .	9	9	10	10
	Торца . .	8	8	9	9
Цилиндрические длинные	Качения .	8	8	—	—
	Торца . .	7	7	—	—
Игольчатые	Качения .	9	—	—	—
Бочкообразные	Качения .	10	10—9	—	—
	Торца . .	8	8	—	—

Мощность существующих горизонтальных прессов достаточна лишь для изготовления заготовок роликов диаметром до 30 *мм*.

За отсутствием более мощных прессов заготовки роликов диаметром свыше 30 *мм* изготовляют выточкой из прутков на токарных автоматах.

Штамповку конических роликов производят из прутков калиброванной стали ШХ15, ШХ15СГ, ШХ9, ШХ6 на горизонтальных прессах различных моделей (например, ЧМЗ-А-148А). Диаметр и длину заготовок штампованного ролика рассчитывают по формулам:

$$D = (d + \Delta d) + \Delta; \quad L = (l + \Delta l) - \Delta_1,$$

где d — диаметр ролика по чертежу; Δ — допуск на диаметр; Δd — припуск на диаметр; l — длина ролика по чертежу; Δl — припуск на длину; Δ_1 — допуск на длину.

Значения для Δd; Δ; Δl; Δ_1 даны в табл. 3.

3. Значения Δd; Δ; Δl; Δl_1

Размеры в *мм*

Диаметр ролика	Метод изготовления	Калиброванная сталь				Горячекатаная сталь			
		Припуск на диаметр Δd	Допуск на диаметр Δ	Припуск на длину Δl	Допуск на длину Δ_1	Припуск на диаметр Δd	Допуск на диаметр Δ	Допуск на длину Δ_1	Припуск на длину Δl
Конические									
8—28	Штамповкой	0,4—0,65	0,3—0,5	Торцы плоские 0,6 сферические 0,5 Односторонняя 0,2	—0,3—0,4	—	—	—	—
15—40	Из прутка	0,8—1,2	ГОСТ 7417-55	Односторонняя 0,2—0,35 Двусторонняя 0,5—0,6	—0,2—0,3	—	—	—	—
26—100	То же	—		—	—	2—4	ГОСТ 1133-41	—0,2—0,3	Односторонняя 0,2—0,3 Двухсторонняя 0,6
Цилиндрические короткие									
8—30 ($L < 2D$)	Из прутка	0,5—1,0	ГОСТ 7417-55	0,3—0,55	—0,15—0,25	—	ГОСТ 1133-41	—	—
26—70 ($L<2D$)	То же	—		—	—	2—4		— 0,2	Двухсторонняя 0,55—0,65
Цилиндрические длинные									
5—30 ($L>2D$)	Из прутка	0,5—1,0	ГОСТ 7417-55	0,45—0,55	— 0,2	—	—	—	—
Бочкообразные									
18—40	Из прутка	0,8—1,2	ГОСТ 7417-55	0,5—0,7	— 0,2	—	ГОСТ 1133-41	—	—
40—70	То же	—		—	—	2—3		— 0,2	0,6—0,8

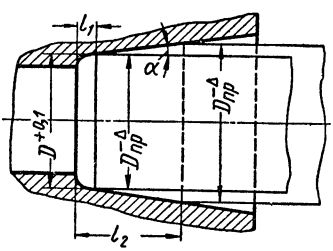
Применение шлифованных прутков позволяет уменьшить припуск на диаметр на 0,1 *мм*, но несколько снижает стойкость матриц, так как при шлифовании прутки подкаливаются и на их поверхности остается абразивная пыль.

Пример расчета заготовки. Размеры заготовки для штампованного ролика, имеющего номинальный диаметр 10,3 *мм*, номинальную длину 16,3 *мм* и изготовленного из нешлифованного прутка, равны

$$D = (10{,}3 + 0{,}4) + 0{,}3 = 10{,}7 + 0{,}3$$

$$L = (16{,}3 + 0{,}6) - 0{,}3 = 16{,}9 - 0{,}3.$$

При определении диаметра прутка учитывают его расположение в матрице: расстояние торца прутка от торца матрицы должно быть в пределах $l_1 \div l_2 = 2{,}5 \div 8$ *мм* (фиг. 1).



Фиг. 1. Положение прутка в матрице при изготовлении штампованной заготовки ролика.

Диаметр прутка рассчитывают по следующим формулам с учетом расстояний l_1 и l_2:

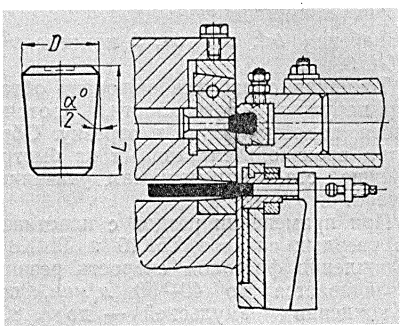
$$\frac{(D_{пр} - \Delta)(D + 0{,}25)}{2} \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2} - 15'\right) \geqslant 2{,}5$$

$$\frac{D_{пр} - D}{2} \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2} - 15'\right) \leqslant 8 \text{ мм},$$

где $D_{пр}$ — диаметр прутка; $\frac{\alpha}{2}$ — половина угла конуса штампованной заготовки ролика.

Порядок переходов при обработке штампованной заготовки на горизонтальном прессе следующий: подача прутка, осадка, отрезка и формирование ролика. На фиг. 2 показаны подача материала до упора и формирование ролика после отрезки.

Число ударов пресса для роликов различных размеров колеблется в пределах 60—110 в минуту. Штампованные заготовки получают с точностью: по неперпендикулярности оси ролика к базовому торцу в пределах 0,1—0,2 *мм*; смещение базового торца относительно оси конической поверхности вследствие смещения осей матрицы и паунсона и зазора направляющих ползуна 0,08 — 0,15 *мм*; допуск на угол укладывается в поле допуска на диаметр.



Фиг. 2. Порядок переходов при обработке штампованной заготовки ролика на горизонтальном прессе.

Токарная обработка заготовки

Ролики диаметром 15—30 *мм* и больше изготовляют из прутков на токарных автоматах следующих моделей: диаметром до 25 *мм* мод. 1218, одношпиндельный, завода им. Фрунзе; диаметром 25—50 *мм* мод. 1261М, шестишпиндельный, Киевского завода и мод. 1262М, четырехшпиндельный, Киевского завода; диаметром 50—80 *мм* мод. 1265, шестишпиндельный, Киевского завода и мод. 1265, четырехшпиндельный, Киевского завода; диаметром 80—100 *мм* мод. 1290, четырехшпиндельный, Киевского завода.

Для роликов диаметром от 15 до 40 *мм* применяют калиброванные

4. Режимы резания при токарной обработке заготовок

Скорость резания в *м/мин*	Подача на один оборот изделия в *мм/об*			
	Обточка	Проточка фаски	Подрезка торца	Отрезка
25—30	0,35	0,03—0,045	0,055—0,07	0,05—0,08

прутки, а диаметром от 25 до 100 *мм* — прутки из горячекатаной стали.

Диаметр прутка и длину отрезанной заготовки ролика рассчитывают по следующим формулам:

$$D_{пр} = d + \Delta d; \quad L_{отр} = (l + \Delta l) - \Delta_1.$$

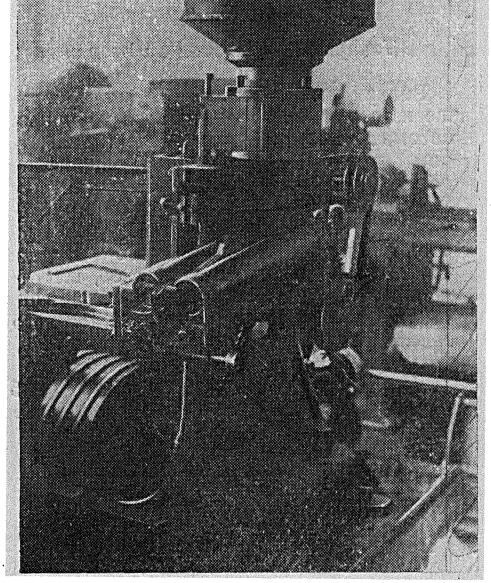
Значения Δd; Δl; Δ_1; Δ приведены в табл. 3.

Токарная обработка включает обточку наружной поверхности, проточку фаски, подрезку торца и отрезку. Обработка производится резцами из быстрорежущей стали при режимах, указанных в табл. 4.

При применении резцов с пластинками твердых сплавов Т5К10 и Т14К8 и охлаждении фрезолом скорость резания увеличивается до 40—50 *м/мин*, при охлаждении эмульсией — до 80—90 *м/мин*.

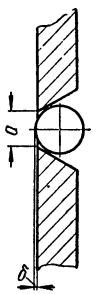
Термическая обработка роликов (см. гл. XV)

Шлифование роликов. Шлифовальные операции имеют наибольший удельный вес в производстве роликов. На этих операциях используют высокопроизводительные бесцентрово- и торцешлифовальные станки с непрерывной подачей деталей автоматическими загрузочными устройствами.



Фиг. 3. Бесцентровошлифовальный станок с ведущим барабаном для подачи конических роликов.

а) Шлифование конической поверхности. Шлифование конической поверхности роликов диаметром до 60 *мм* производят на бесцентровошлифовальных станках типа ЗВШС (3180), СБЗ, ТБШ и др. На бесцентровошлифовальный станок для шлифования конической поверхности устанавливается ведущий барабан, изготовленный из стали ШХ15 твердостью *RC* 55—62, профиль витков которого соответствует профилю обрабатываемых роликов (фиг. 3).



Фиг. 4. Расстояние между верхним и нижним ножами на бесцентрово-шлифовальном станке

Пропуски на шлифование конической поверхности даны в табл. 5, режимы шлифования — в табл. 6.

Шлифовальному кругу придают цилиндрическую форму. Нижний опорный и верхний направляющий ножи устанавливают горизонтально. Толщина рабочей части опорного нижнего ножа равна половине меньшего диаметра ролика. Зазор между шлифовальным кругом и нижним ножом δ (фиг. 4) в зависимости от диаметра ролика колеблется в пределах 0,5—2 *мм*. Для обеспечения нормальной гранности и овальности ролика нижний нож устанавливают из расчета положения центра ролика выше линии центров круга для чистового шлифования на $^3/_4$ и окончательно на $^1/_2$ большего диаметра ролика. Расстояние линии центров от поверхности суппорта равно: для станков 3180 — 222 *мм*, для СБЗ — 214,5 *мм*; ТБШ — 217 *мм*. Цинциннати — 214 *мм*.

Расстояние между верхним и нижним ножами равно:

$$a = 0{,}577\,D + 1{,}155\,\delta,$$

где a — расстояние между ножами, D — наибольший диаметр ролика, δ — зазор между нижним ножом и шлифовальным кругом.

После первой правки шлифовального круга производится повторное его балансирование.

5. Припуск на шлифование поверхности качения роликов в *мм*

Диаметр роликов в *мм*	Конические ролики					Короткие цилиндрические ролики					Длинные цилиндрические ролики					Бочкообразные ролики			
	Съем при шлифовании					Съем при шлифовании					Съем при шлифовании					Съем при шлифовании			
	до термообработки	предварительном	чистовом	окончательном	Общий припуск	прутков	до термообработки	предварительном	чистовом	окончательном	Общий припуск	прутков	до термообработки	предварительном	чистовом	окончательном	Общий припуск	предварительном	чистовом	окончательном	Общий припуск
5—10	—	0,76	—	0,04	0,80	0,44 0,20	0,20	0,20 0,20	0,03 0,03	0,05 0,05	0,72 0,68	0,30	0,20	0,14	0,04	0,04	0,72	0,42 0,30	0,10 0,10	0,06 0,06	0,58 0,46
10—13	0,45	0,17	0,06	0,02	0,70	0,76 0,30	0,20	0,24 0,24	0,03 0,03	0,05 0,05	1,08 0,82	0,30	0,20	0,14	0,04	0,04	0,72	0,68 0,30	0,10 0,10	0,06 0,06	0,64 0,46
13—16	0,53	0,21	0,06	0,02	0,82	0,93 0,40	0,20	0,26 0,26	0,03 0,03	0,06 0,06	1,28 0,95	0,40	0,20	0,15	0,04	0,04	0,83	0,60 0,30	0,10 0,10	0,06 0,06	0,76 0,46
16—20	0,54	0,28	0,06	0,02	0,90	0,98 0,45	0,20	0,28 0,28	0,03 0,03	0,06 0,06	1,35 1,02	0,42	0,20	0,15	0,04	0,03	0,84	0,60 0,30	0,10 0,10	0,06 0,06	0,76 0,46
20—25	0,57	0,30	0,06	0,02	0,95	0,55	0,20	0,32	0,03	0,06	1,11	0,42	0,25	0,15	0,03	0,03	0,88	0,68 0,33	0,10 0,10	0,05 0,05	0,84 0,48
25—30	0,59	0,34	0,06	0,03	1,02	0,60	0,25	0,32	0,05	0,06	1,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25—30	—	0,49	0,04	0,03	0,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,33	0,10	0,05	0,48
30—40	—	0,52	0,03	0,03	0,55	0,62	0,25	0,33	0,06	0,07	1,30	—	—	—	—	—	—	0,37	0,08	0,05	0,50
40—50	—	0,53	0,03	0,03	0,59	0,65	0,20	0,34	0,08	0,08	1,35	—	—	—	—	—	—	0,40	0,08	0,05	0,53
50—60	—	0,54	0,03	0,03	0,61	0,65	0,20	0,34	0,08	0,10	1,37	—	—	—	—	—	—	0,44	0,08	0,05	0,57

Примечание. Припуски даны для роликов: конических штампованных ⌀ 5—30 *мм*; конических точеных ⌀ 25—60 *мм*; цилиндрических коротких штампованных ⌀ 5—20 *мм* (в числителе); цилиндрических коротких точеных ⌀ 5—60 *мм* (в знаменателе); бочкообразных штампованных ⌀ 5—25 *мм* (в числителе); бочкообразных точеных ⌀ 8—60 *мм* (в знаменателе); длинных цилиндрических точеных ⌀ 5—25 *мм*.

6. Режимы шлифования конической поверхности

а) Штампованные

Размеры роликов		До термообработки					Предварительное				
Диаметр в *мм*	Длина в *мм*	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на один проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на один проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов
5—10	15—20	ЭБ25СТ1К	—	—	—	—	Э25СТ1В	30—50	95—115	0,46 0,15	1 2
10—13	17—30	То же	30—50	70—90	0,45	1	То же	30—50	95—115	0,11 0,06	1 1
13—16	20—35	»	30—50	70—90	0,37 0,16	1 1	»	30—50	70—95	0,10	2
16—20	20—35	ЭБ46СТ1К	30—50	50—70	0,27 0,13	1 2	Э25С2В	30—50	50—70	0,10 0,08	2 1
20—25	25—40	То же	30—50	50—70	0,27 0,14	1 2	То же	30—50	50—70	0,10	3
25—30	30—50	Э46С2К	30—50	40—60	0,25 0,11	1 3	Э12СТ1В	30—50	40—60	0,10 0,08 0,05	1 1 1

Примечание. Размеры шлифовального круга 500×150(200) *мм*.

б) Точеные

Диаметр роликов в *мм*	Предварительное шлифование методом продольной подачи					Чистовое
	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга
25—30	Э12СТ1В	30—50	40—60	0,14 0,10 0,08 0,05	1 2 1 2	Э16СТ1Б
30—40	То же	30—50	40—60	0,14 0,10 0,08 0,05	1 2 1 2	То же
40—50	Э12С2В	30—50	30—50	0,09 0,06 0,05	2 4 2	Э25СТ1Б
50—60	То же	30—50	30—40	0,07 0,06 0,04	2 4 4	То же

Примечание. Размеры шлифовального круга 500×150 (200) *мм*.

конических роликов (до и после термообработки)

ролики

Чистовое					Окончательное				
Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на один проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на один проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов
—	—	—	—	—	Э10100С1В	30—50	95—115	0,04	1
Э12С1-СМ2В	30—50	70—95	0,06	1	Э12СМ2В	30—50	70—95	0,02	1
То же	30—50	70—95	0,06	1	То же	30—50	70—95	0,02	1
»	30—50	50—70	0,05	1	»	30—50	50—70	0,02	1
»	30—50	40—60	0,05	1	»	30—50	40—60	0,02	1
Э12СМ1-СМ2В	30—50	40—60	0,03	2	Э12СМ1В	30—50	40—60	0,02	2

ролики

шлифование до упора				Окончательное шлифование				
Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов	Характеристика	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Глубина шлифования на проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов
30—50	40—60	0,04	1	Э16СТ1Б	30—50	40—60	0,02	1
30—50	40—60	0,03	1	То же	30—50	30—50	0,015	2
30—50	30—50	0,03	1	Э25СТ1Б	30—50	30—40	0,015	2
30—50	30—40	0,03	1	То же	30—50	20—30	0,015	2

При шлифовании крупных конических роликов врезанием шлифовальному кругу придается коническая форма. Это осуществляется поворотом алмазного приспособления на угол $\frac{\alpha}{2}$. Бабку ведущего барабана и суппорт алмазного приспособления к нему устанавливают под углом $\frac{\alpha}{2}+(45'\div1°30')$ в горизонтальной плоскости. Нижний направляющий нож повернут в вертикальной плоскости на угол $\frac{\alpha}{2}$, а в горизонтальной — на $\frac{\alpha}{4}$.

Центр ролика находится выше линии центров кругов в зависимости от его размера на $^1/_4\div^1/_2$ D.

Коническую поверхность роликов диаметром более 60 *мм* шлифуют на круглошлифовальных станках ХЗС-316Б.

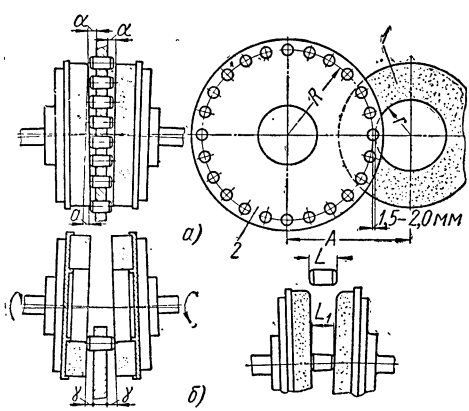
б) Шлифование плоских торцов. При шлифовании плоских торцов роликов на торцешлифовальных станках типа 2733, 2734 и ВШ-80 необходимо правильно установить углы поворота оси шлифовальных кругов в вертикальной (угол α) и горизонтальной (угол γ) плоскостях (фиг. 5).

Исследования показали, что установка угла поворота осей шлифовальных кругов может производиться в любом направлении в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а величина угла поворота (для обеспечения неперпендикулярности оси к торцу ролика в пределах 5 *мк*) не должна превышать 0,06 *мм* (на диаметре установочной шайбы, равном 400 *мм*).

Вращение шлифовальных кругов на этих станках происходит с одинаковой скоростью и в направлении на работающего.

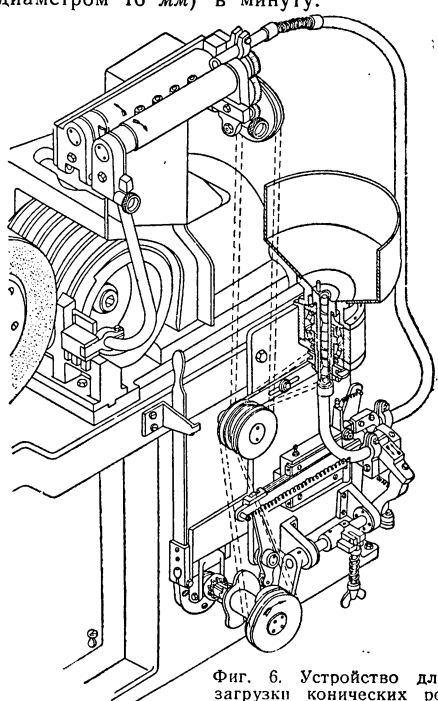
Расстояние между центрами шлифовальных кругов и подающего диска устанавливают так, чтобы обрабатываемый ролик выходил за пределы внутренней окружности шлифовального круга на величину, равную 1,5÷ 2 *мм*. Припуски на шлифование указаны в табл. 7, режимы шлифования — в табл. 8.

в) Шлифование сферического торца. Шлифование сферического торца роликов производится на автоматических станках МШ-26 и ВШ-2б для роликов диаметром до 25 *мм* и на станках ВШ-24М — для роликов диаметром до 50 *мм*. Режимы шлифования даны в табл. 8. Производительность этих станков не превышает 25 роликов (диаметром 16 *мм*) в минуту.



Фиг. 5. Расположение кругов на торцешлифовальном станке для шлифования плоских торцов роликов:

а — наклон шлифовальных кругов в вертикальной плоскости; *б* — наклон кругов в горизонтальной плоскости; *1* — шлифовальный круг; *2* — подающий диск.



Фиг. 6. Устройство для загрузки конических роликов на бесцентрово-шлифовальном станке.

7. Припуски на шлифование торцов роликов в *мм*

Диаметр роликов в *мм*	Конические				Короткие цилиндрические[2]				Длинные цилиндрические			Бочкообразные[2]			
	Плоские торцы			Сферический торец[1]	Плоские торцы				Плоские торцы			Торцы			
	до термообработки	после термообработки	общий припуск		до термообработки	после термообработки предварительной	после термообработки окончательной	общий припуск	до термообработки	после термообработки	общий припуск	плоские	вогнутый[1]	выпуклый[1]	общий припуск
5—10	—	0,4	0,40	—	— 0,20	0,32 0,19	0,12 0,06	0,44 0,45	—	—	—	—	—	—	—
10—13	0,4	0,2	0,60	0,05	0,38 0,20	0,13 0,19	0,12 0,06	0,63 0,45	0,27	0,18	0,45	0,33 0,20	0,08 0,08	0,08 0,08	0,50 0,36
13—16	0,4	0,2	0,60	0,08	0,40 0,20	0,13 0,19	0,12 0,06	0,65 0,45	0,27	0,18	0,45	0,33 0,20	0,10 0,10	0,10 0,10	0,53 0,40
16—20	0,4	0,2	0,60	0,13	0,43 0,20	0,23 0,28	0,12 0,06	0,78 0,55	0,30	0,18	0,48	0,31 0,20	0,10 0,10	0,10 0,10	0,51 0,40
20—30	0,4	0,15	0,55	0,20	0,20	0,29	0,06	0,55	—	—	—	0,25	0,13	0,12	0,50
30—40	—	—	0,30	0,30	0,20	0,29	0,06	0,55	—	—	—	0,25	0,15	0,15	0,55
40—50	—	—	0,30	0,30	0,20	0,38	0,05	0,64	—	—	—	0,25	0,15	0,15	0,55
50—60	—	—	0,30	0,30	0,20	0,38	0,05	0,64	—	—	—	0,25	0,20	0,20	0,65

[1] Припуск дан на один торец. В остальных случаях — на два.

[2] Припуск дан на штампованные ролики в числителе, на точеные — в знаменателе.

8. Режимы шлифования торцов конических

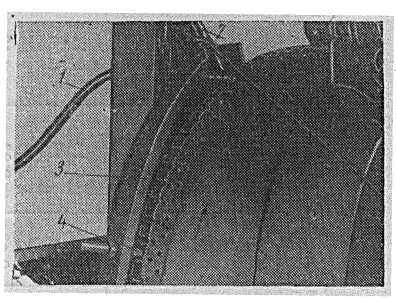
Размеры ролика		Плоские торцы до термообработки						Плоские тор	
		Шлифовальный круг		Режим шлифования				Шлифовальный круг	
Диаметр в мм	Длина в мм	Размеры в мм	Характеристика	Скорость круга в м/сек	Число оборотов диска в минуту	Число роликов в шт/мин	Глубина шлифования на два торца в мм	Размеры в мм	Характеристика
5—10	15—20	380—350×60	Э25СТ1К	50—30	2,5	135	0,4	380—350×60	Э80СТ1Б
10—13	17—30	380—350×60	То же	50—30	2,5	120	0,4	380—350×60	То же
13—16	20—35	380—350×60; 600×100	»	50—30	2,5	120/150	0,4	360—350×60; 585×60	»
16—20	20—35	380—350×60; 600×100	»	50—30	2,5/2	90/100	0,4	380—350×60; 585×60	Э80С2Б
20—35	25—40	380—350×60; 600×100	Э25С2К	50—30	1,3	60	0,4	380—350×60; 585×60	То же
30—40	30—50	380—350×60; 600×100	То же	50—30	0,8	40	0,4	380—350×60; 585×60	»

Загрузочные устройства для бесцентрово и торцешлифовальных станков, привод которых осуществляется от самостоятельного мотора или от шпинделя ведущего барабана, показаны на фиг. 3, 6, 7.

Устройства с бункером, расположенным над бабкой ведущего барабана (см. фиг. 3), применяют для роликов диаметром до 16 *мм*, а с бункером, расположенным у основания бабки ведущего барабана (фиг. 6), — для более крупных роликов.

На торцешлифовальных станках применяют загрузочные устройства двух типов: с пневмовсасывателем и с толкателем.

Загрузочное устройство с толкателем, показанное на фиг. 7, работает в следующем порядке: по трубке *1* ролики подаются к толкателю *2*, закрепленному на качающемся коромысле *3*. При вращении диска фиксатор *4*, выходя из выреза диска, отклонит коромысло и с ним толкатель. Толкатель откроет отверстие трубки, из которого подается очередной ролик. При перемещении фиксатора в вырез диска толкатель пошлет ролик в гнездо диска.



Фиг. 7. Устройство для загрузки цилиндрических роликов на торцешлифовальном станке.

Состав охлаждающей жидкости, используемой на операциях предварительного шлифования роликов, следующий: триэтаноламина 0,6—0,8%, нитрит натрия 0,25—0,30% и ОП 7—0,1%.

Для операций окончательного шлифования в ее состав добавляется эмульсол 2,5—3%.

Точность геометрических параметров конических роликов нормального класса на различных операциях шлифования указана в табл. 9. Формулы расчета технологического времени обработки роликов приведены в табл. 10.

роликов (до и после термообработки)

цы после термообработки				Сферический торец после термообработки					
Режим шлифования				Шлифовальный круг		Режим шлифования			
Скорость круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту	Число роликов в шт/мин	Глубина шлифования на два торца в *мм*	Размеры в *мм*	Характеристика	Скорость круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту	Число роликов в шт/мин	Глубина шлифования в *мм*
30—50	2,0	110	0,2	90×75	Э6С1В	30—50	500	25	0,05
30—50	2,0	100	0,2	90×75	То же	30—50	500	20	0,07
50—30	2,5 / 2,0	100 / 120	0,2	90×75	»	30—50	500	20	0,08
50—30	2,0 / 1,5	70 / 80	0,2	90×75	Э6СМ2В	30—50	500	20	0,08 0,05
30—50	1,3	60	0,15	120×75	То же	30—50	500	16	0,05 4 прохода
30—50	0,8	40	0,15	120×75	»	30—50	500	16	0,05 4 прохода

9. Допуски при шлифовании геометрических параметров роликов нормального класса в *мк*

Диаметр роликов	До термообработки				Предварительное				Чистовое			Окончательное			
	Диаметр	Угол конуса	Вогнутость и выпуклость	Овальность и гранность	Диаметр	Угол конуса	Корсетность и бочкообразность	Овальность и гранность	Диаметр	Угол конуса	Овальность и гранность	Диаметр	Угол конуса	Биение торца	Овальность и гранность
Конические ролики															
Штампованные															
До 10	−50	±25	10	10	−15	±7	3	4/10	−15	±4	2,5/8	−10	±1,5	10	1,5/4
10—14	−40	±20	10	12/24	−15	±7	3	4/10	−15	±4	2,5/8	−10	±1,5	15	1,5/6
14—18	−40	±20	10	12/24	−15	±7	3	4/10	−15	±4	2,5/8	−10	±1,5	15	1,5/6
18—23	−40	±20	8	15/30	−15	±7	3	4/10	−15	±5	3/10	−10	±2	20	2/8
Точеные															
15—18	−40	±20	8	15/30	−15	±7	3	4/10	−15	±4	2,5/8	−10	±1,5	15	1,5/6
18—25	−40	±20	8	15/30	−20	±7	3	4/10	−15	±5	3/10	−10	±2	20	1,5/6
25—30	−40	±20	8	15/35	−20	±8	3	4/12	−15	±6	3/10	−10	±2	20	2/8
30—50	−45	±25	10	15/35	−25	±10	4	4/12	−20	±7	5/15	−15	±3	25	3/15
50—65	−50	±30	10	15/35	−30	±12	5	10/21	−20	±8	7/18	−15	±3	30	5/15

Продолжение табл. 9

Диаметр роликов в *мм*	Предварительное						Чистовое						Окончательное					
	Диаметр	Овальность	Гранность	Биение базового торца	Положение максимального диаметра	Радиус сферы	Диаметр	Овальность	Гранность	Биение базового торца	Положение максимального диаметра	Радиус сферы	Диаметр	Овальность	Гранность	Биение базового торца	Положение максимального диаметра	Радиус сферы
Цилиндрические короткие ролики																		
5—10	−40	—	—	$\frac{15}{40}$	−20	4	3	$\frac{4}{10}$	−10	2	$\frac{2}{6}$	−10	1	8	$\frac{1}{3}$
10—18	−40	—	—	$\frac{17}{50}$	−20	3	3	$\frac{3}{8}$	−10	2	$\frac{2}{6}$	−10	1	10	$\frac{1}{3}$
18—30	−50	—	—	$\frac{25}{70}$	−20	4	4	$\frac{4}{10}$	−10	2	$\frac{2}{6}$	−10	1,5	15	$\frac{1,5}{4,5}$
30—40	−50	—	—	$\frac{50}{150}$	−20	5	5	$\frac{5}{14}$	−10	3	3	−10	2	18	$\frac{2}{6}$
40—46	−50	—	—	$\frac{50}{150}$	−20	5	5	$\frac{5}{14}$	−10	3	$\frac{3}{9}$	−10	2	25	$\frac{2}{6}$
50—80	−50	—	—	$\frac{50}{150}$	−20	6	6	$\frac{6}{18}$	−10	4	$\frac{4}{12}$	−15	3	30	$\frac{3}{9}$
Бочкообразные ролики																		
До 10	−40	7	14	18	$\pm\frac{120}{80}$	+7	−30	3	8	12	±95	+5	−20	2	5	8	±90	+3
10—18	−40	7	14	18	$\pm\frac{120}{80}$	+7	−30	3	8	12	±95	+5	−20	2	5	8	±90	+3
18—25	−40	7	14	25	$\pm\frac{120}{80}$	+7	−30	4	10	20	±95	+5	−20	2,5	7	10	±90	+3
25—30	−40	7	14	25	$\pm\frac{120}{80}$	+8	−30	4	10	20	±95	+6	−20	2,5	7	10	±90	+4
30—40	−40	7	14	25	$\pm\frac{120}{80}$	+8	−30	4	10	18	±100	+6	−20	2,5	8	12	±90	+4
40—50	−40	7	14	25	$\pm\frac{110}{90}$	+8	−30	4	10	18	±100	+6	−20	2,5	8	12	±90	+4
50—60	−40	8	15	30	$\pm\frac{110}{90}$	+7	−30	5	12	25	±100	+6	−20	3,5	11	22	±90	+4
60—70	−40	9	15	30	$\pm\frac{115}{90}$	+7	−30	5	12	25	±100	+6	−20	3,5	11	22	±90	+4

Примечание. Ролики бочкообразные для железнодорожных подшипников изготовляют по более жестким ТУ: для ⌀ 40 *мм* гранность 6 *мк*, биение базы 6 *мк*, положение малого диаметра ±40 *мк*, радиус сферы 2,5 *мк*.

10. Формулы для определения технологического времени обработки

Наименование операции	Формула	Обозначения
Шлифование цилиндрической поверхности цилиндрических роликов	$T_{техн} = \frac{L\vartheta}{s} i$ мин., где $s = \pi \cdot D_{в.к} n_{в.к} \sin\beta$ *мм/мин*	$T_{техн}$ — время обработки одного ролика в мин.; L — длина ролика в *мм*; ϑ — коэффициент скольжения $\vartheta = 1{,}1$; i — число проходов; s — продольная подача в *мм/мин*; $D_{в.к}$ — диаметр ведущего круга в *мм*; $n_{в.к}$ — число оборотов ведущего круга в минуту; β — угол наклона оси ведущего круга в град.
Шлифование конической поверхности конических роликов	$T_{техн} = \frac{1}{n_{в.б}} i$ мин.	$n_{в.б}$ — число оборотов ведущего барабана в минуту
Шлифование сферической поверхности сферических роликов	Врезанием $T_{техн} = \frac{1}{m_{в.к}} i$ мин. на проход $T_{техн} = \frac{1}{n_{в.к}} i$ мин.	$m_{в.к}$ — число подач ведущего круга в мин.; $n_{в.к}$ — число оборотов ведущего барабана в минуту
Шлифование торцов (плоской базы) цилиндрических и конических роликов на торцешлифовальных станках	$T_{техн} = \frac{1}{n_{д} z}$ мин.	$n_{д}$ — число оборотов подающего диска в минуту; z — число гнезд в диске
Шлифование сферического торца конических роликов на станках МШ-26 и др.	$T_{техн} = \frac{1}{n_{р.в}}$ мин.	$n_{р.в}$ — число оборотов распределительного вала в минуту
Шлифование плоских и сферических торцов сферических роликов	$T_{техн} = \frac{ak}{t_1 n_{ст} z_1}$ мин.	a — припуск на обработку в *мм*; t — вертикальная подача круга на один оборот стола в *мм*; $n_{ст}$ — число оборотов стола в минуту; z_1 — число роликов, установленных на столе станка; k — коэффициент износа круга; для сырых роликов $k = 1{,}15$, для закаленных $k = 1{,}2$

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РОЛИКОВ

Между главной рабочей — цилиндрической — поверхностью и вспомогательными базовыми — торцовыми — поверхностями цилиндрических роликов существуют регламентированные взаимосвязи по неперпендикулярности. Принцип совмещения основной технологической и контрольной базовой поверхностей так же, как для конических роликов, выдерживается при бесцентровом шлифовании цилиндрической поверхности.

11. Режимы шлифования прутков для точёных цилиндрических роликов

Диаметр роликов в *мм*	Шлифовальный круг		Короткие ролики $L<2D$					Длинные ролики $L\geqslant 2D$				
	Размеры в *мм*	Характеристика	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на диаметр) в *мм*	Число проходов
5—7	450×100	Э40СТ1К	30—50	70—90	5,0	0,10	2	30—50	70—90	5,0	0,20 0,10	1 1
8—10	500×150	То же	30—50	50—70	5,0	0,20	1	30—50	50—70	5,0	0,18 0,12	1 1
11—14	500×150	»	30—50	50—70	5,0	0,15	2	30—50	50—70	4,5	0,18 0,12	1 1
15—18	500×150	»	30—50	40—50	4,5	0,15 0,10	2 1	30—50	40—50	4,5	0,15 0,10	2 1
19—23	500×150	»	30—50	40—50	4,5	0,12 0,10	2 3	30—50	40—50	4,5	0,15 0,10	2 1
24—30	500×150	Э40С2К	30—50	30—40	4,5	0,13 0,10	3 2	—	—	—	—	—
31—37	500×150	То же	30—50	30—40	4,0	0,14 0,10	3 2	—	—	—	—	—
38—48	500×150	»	30—50	30—40	3,0	0,14 0,10 0,07	2 3 1	—	—	—	—	—
49—60	500×150	»	30—50	30—40	3,0	0,14 0,10 0,07	2 3 1	—	—	—	—	—

Технические условия для коротких цилиндрических роликов (см. табл. 1 и 2) могут быть обеспечены следующим типовым технологическим процессом:

1. Штамповка заготовки.
2. Оболтка заусенцев.
3. Шлифование цилиндрической поверхности.
4. Шлифование торцов.
5. Закалка и отпуск. Очистка от окалины.
6. Предварительное шлифование цилиндрической поверхности.
7. Шлифование торцов.
8. Чистовое шлифование цилиндрической поверхности.
9. Окончательное шлифование цилиндрической поверхности.
10. Промывка и просушка.
11. Контроль по внешнему виду.
12. Контроль и сортировка по размерам.
13. Промывка и смазка.
14. Упаковка.

Примечания: 1. Для точеных роликов первые три операции заменяются следующими: правка прутка; шлифование прутка; токарная обработка.

2. Для роликов, изготовленных по специальным ТУ, добавляют следующие операции: дополнительный отпуск и доводка торцов.

3. Для роликов, изготовленных по специальным ТУ, производят шлифование скосов и доводку поверхности качения

Технологический процесс обработки длинных цилиндрических роликов аналогичен процессу обработки коротких цилиндрических роликов.

При изготовлении длинных цилиндрических роликов с цапфами торцы роликов не шлифуют.

Эти ролики обрабатывают из прутка на токарных автоматах. Режимы шлифования и оборудование для них те же, что и для роликов цилиндрических со шлифованными торцами. Заготовки для коротких цилиндрических роликов изготовляют двумя методами: холодной штамповкой диаметром от 5 до 18 *мм* и выточкой из прутка диаметром от 5 до 60 *мм*.

Штамповка заготовки

Штамповка заготовки цилиндрического ролика — более прогрессивный метод по сравнению с выточкой ее из прутка, поскольку отходы металла в стружку при этом будут минимальными. Диаметр и длина заготовки ролика могут быть подсчитаны по тем же формулам с теми же значениями входящих в них элементов (см. табл. 1), что и для конических штампованных роликов. При изготовлении цилиндрических роликов на токарных автоматах из прутков, последние предварительно шлифуются на бесцентрово-шлифовальных станках типа СБЗ, ЗВШС и др. Размеры и характеристика кругов, а также режимы шлифования даны в табл. 11.

Токарная обработка роликов

Токарная обработка роликов диаметром до 18 *мм* производится на токарно-револьверных автоматах Ленинградского и Пензенского заводов мод. ЛЗ-110, ЛЗА1, А1011, 1А112, 1А118, роликов диаметром от 25 до 60 *мм* — мод. 1А124, 1А136, 1А154. При обработке производят подрезку торца, прорезку, обточку фаски и отрезку со следующими режимами: *скорость резания* 28—32 *м/мин*; *подача поперечная* 0,045—0,5 *мм/об*. При применении твердосплавных резцов скорость резания принимается 50—90 *м/мин* в зависимости от охлаждающей жидкости. Длину и диаметр ролика после отрезки рассчитывают по тем же формулам, что и для конических (точеных).

Значения для Δd; Δl и Δ_1, Δ приведены в табл. 3.

Термообработка цилиндрических роликов аналогична термообработке конических роликов.

Шлифование роликов

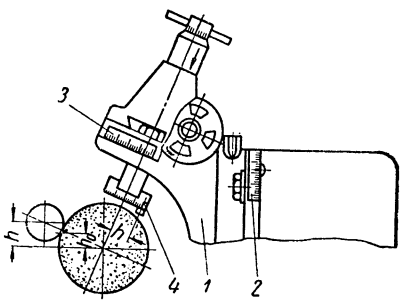
Шлифование цилиндрической поверхности роликов производят на следующих бесцентрово-шлифовальных станках:

Ролики короткие и длинные цилиндрические	Ролики диаметром до 10 *мм*	Бесцентрово-шлифовальные станки Саратовского завода «Мультимат 0»
То же	10—70	3180, Цинцинати 2А
Игольчатые	До 3,5	Саратовского завода «Мультимат 0»
То же	3,5—6	«Мультимат 0» и 3180

Настройка бесцентровошлифовального станка для цилиндрических роликов отличается от настройки для конических заменой ведущего барабана на ведущий круг (на вулканитовой связке).

Установка центра ролика та же, что и при шлифовании конических роликов.

Подача роликов в осевом направлении осуществляется вследствие расположения оси ведущего круга под некоторым углом α к оси изделия (в вертикальной плоскости), при этом ведущему кругу придается форма однополостного гиперболоида. Для этого при правке ведущего круга поворотную часть бабки *1* устанавливают по шкале *2* на заданный угол α; поворотные салазки устанавливают по шкале *3* на угол α, а призматическую державку *4* — на величину h (фиг. 8).



Фиг. 8. Положение ролика и державки с алмазным инструментом на бесцентровошлифовальном станке.

Для обеспечения контакта шлифуемой детали по прямой с ведущим кругом, которому придана форма однополостного гиперболоида, необходима их приработка.

Для уменьшения времени приработки рекомендуют корректировать форму ведущего круга так, чтобы положение центра изделия по отношению к оси ведущего круга было постоянным.

Для этого устанавливают поворотную ось бабки *1* по шкале *2* на заданный угол α, и поворотные салазки по шкале *3* на угол α_3, затем смещают призматическую державку *4* на расстоянии h_1. Значения h_1 даны в табл. 12.

12. Значения h_1

Диаметр роликов в *мм*	Углы в град.		h_1	Углы в град.		h_1
	α	α_3		α	α_3	
20—50	2	1°55′	0,9 h_0	3	2°50′	0,9 h_0
50—80	2	1°50′	0,9 h_0	3	2°45′	0,9 h_0

Припуски на обработку и режимы шлифования цилиндрических и игольчатых роликов даны в табл. 5, 13, 14 и 15.

Шлифование торцов производится на торцешлифовальных станках.

Наладка торцешлифовальных станков для цилиндрических роликов не отличается от наладки для конических.

Обработку торцов игольчатых роликов производят на токарном автомате фасонным резцом (по 2 шт. одновременно).

Точность геометрических параметров коротких цилиндрических роликов нормального класса для различных операций шлифования дана в табл. 9.

Формулы расчета технологического времени приведены в табл. 10.

Припуски и режимы обработки цилиндрических роликов на торцешлифовальных станках типа 2733 и 2734 даны в табл. 7, 16 и 17.

Загрузочные устройства. На бесцентровых станках для шлифования цилиндрической поверхности игольчатых роликов нашли применение два типа загрузочных устройств: пневматические барабаны (3ГПЗ и 4ГПЗ) и устройства с подачей роликов к кругу при помощи винта (1ГПЗ).

Та и другая конструкция надежны в работе при условии соблюдения чистоты на рабочем месте.

Для игольчатых карданных роликов, имеющих острые концы на торцах, более пригодна вторая конструкция.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ БОЧКООБРАЗНЫХ РОЛИКОВ

Для бочкообразных роликов ответственными являются сферическая поверхность качения и сферическая поверхность большого торца.

На сферической поверхности совмещены основная базовая и главная рабочая поверхность роликов, а поверхность выпуклого торца является вспомогательной базовой и рабочей поверхностью. Между основной и вспомогательной базовой поверхностями существует взаимосвязь. Для бочкообразных роликов, наряду с овальностью и точностью профиля (по радиусу сферы и положению наибольшего диаметра), большое значение имеет биение выпуклого (базового) торца.

Технические условия на геометрические параметры и микрогеометрию поверхности бочкообразных роликов нормального класса (см. табл. 1 и 2) выдерживаются при применении следующего типового технологического процесса:

1. Заточка и правка прутка*.
2. Обдирка прутка.
3. Токарная обработка всех поверхностей.
4. Шлифование плоских торцов.
5. Закалка и отпуск. Очистка от окалины.
6. Шлифование вогнутого торца.
7. Шлифование выпуклого торца.
8. Демагнитизация и промывка.
9. Предварительное шлифование сферической поверхности *.
10. Чистовое шлифование сферической поверхности.
11. Окончательное шлифование сферической поверхности **.
12. Промывка и просушка.
13. Контроль по внешнему виду.
14. Сортировка и контроль по размерам.
15. Промывка и смазка.
16. Упаковка.

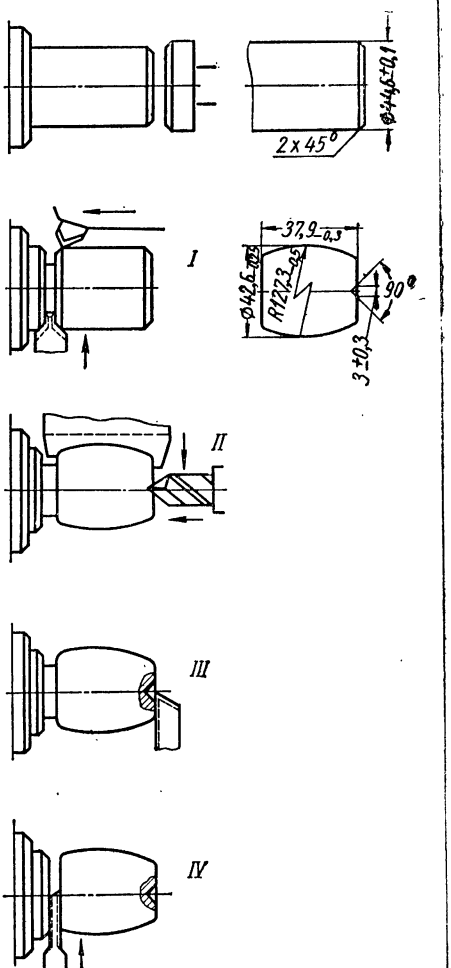
Токарная обработка роликов

Обработку бочкообразных роликов производят на четырехшпиндельных автоматах типа 1262М и 1265 резцами из быстрорежущей стали. Обработка ролика состоит из подрезки торца, выточки фаски, обточки по профилю и отрезки.

Схема наладки токарного автомата показана на фиг. 9.

Диаметр и длину ролика после отрезки рассчитывают по формулам, приведенным выше. Значения для Δd; Δl и Δ_1, Δ даны в табл. 3.

Термообработка бочкообразных роликов аналогична термообработке конических и цилиндрических роликов.



Фиг. 9. Схема наладки токарного автомата 1262М: *I* — позиция — обточка и предварительная отрезка, *II* — позиция — зацентровка и фасонная обточка, *III* позиция — подрезка торца, *IV* позиция отрезка.

* Бочкообразные ролики диаметром до 23 *мм* изготовляются также из штампованной заготовки. В этом случае вместо первых трех применяют следующие операции: 1) заправка прутка, 2) штамповка, 3) оболтка заусенцев в барабане, 4) снятие облоя на бесцентрово-шлифовальном станке, 5) обточка фасок с двух сторон, 6) закалка и отпуск.

** Для роликов, изготовленных по специальным ТУ, и для железнодорожных пошипников добавляют следующие операции: дополнительный отпуск и промывку.

13. Режимы шлифования цилиндрической поверхности коротких

Диаметр роликов в *мм*	До термообработки						Предварительное					
	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
5—7	Э25СТ1К	30—50	70—95	2,5	0,20	1	Э25СТ2В	30—50	70—95	2,0	0,08 0,05	2 1
8—10	То же	30—50	70—95	2,5	0,20	1	То же	30—50	95—115	2,0	0,07 0,05	2 2
11—14	»	30—50	70—95	2,0	0,20	1	»	30—50	70—95	2,0	0,08 0,05	2 2
15—18	»	30—50	70—95	2,0	0,20	1	»	30—50	70—95	1,5	0,08 0,05	2 2
18—22	Э25С2К	30—50	70—95	2,0	0,20	1	Э25СТ1В	30—50	50—70	2,0	0,06 0,04	4 2
22—27	То же	30—50	50—70	2,5	0,15 0,10	1 1	То же	30—50	50—70	2,0	0,06 0,04	2 5
28—35	»	30—50	50—70	2,0	0,15 0,10	1 1	»	30—50	50—70	1,5	0,05 0,04	2 5
36—45	Э25С1К	30—50	50—70	2,0	0,15 0,10	1 1	Э25С2В	30—50	40—50	2,0	0,05 0,04	2 5
46—52	То же	30—50	50—70	2,0	0,10 0,10	1 1	То же	30—50	40—50	2,0	0,05 0,04	2 6
53—60	»	30—50	40—50	2,0	0,10 0,10	1 1	»	30—50	40—50	1,5	0,05 0,04	2 6

Примечание. Размеры шлифовального круга 500×150 (200)

14. Режимы шлифования цилиндрической поверхности длинных

Диаметр роликов в *мм*	До термообработки						Предварительное					
	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
5—7	Э25СТ1К	30—50	70—95	3,0	0,20	1	Э25СТ1В	30—50	70—95	2,5	0,08 0,06	1 1
8—10	То же	30—50	70—95	3,0	0,20	1	То же	30—50	95—115	2,5	0,08 0,06	1 1
11—14	»	30—50	70—95	2,5	0,20	1	»	30—50	95—115	2,5	0,08 0,06	1 1
15—18	»	30—50	70—95	2,5	0,20	1	»	30—50	95—115	2,0	0,05	3
19—25	Э25С2К	30—50	70—95	2,0	0,15 0,10	1 1	Э25С2В	30—50	70—95	2,0	0,05	3

цилиндрических роликов (до и после термообработки)

Чистовое						Окончательное					
Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
Э12С1В	30—50	70—95	2,0	0,03	1	Э12С1В	30—50	70—95	2,0	0,02 0,01	2 1
То же	30—50	95—115	2,0	0,03	1	То же	30—50	95—115	2,0	0,02 0,01	2 1
»	30—50	70—95	2,0	0,03	1	»	30—50	70—90	2,0	0,02 0,01	2 2
»	30—50	70—95	1,5	0,03	1	»	30—50	70—90	1,5	0,02 0,01	2 2
Э12СМ2В	30—50	50—70	2,0	0,03	1	Э12СМ2В	30—50	50—70	2,0	0,02 0,01	2 2
То же	30—50	50—70	2,0	0,03 0,02	1 1	То же	30—50	50—70	2,0	0,02 0,01	2 2
»	30—50	50—70	1,5	0,02	3	»	30—50	50—70	1,5	0,02 0,01	3 1
Э12СМ1В	30—50	40—50	2,0	0,02	4	Э12СМ1В	30—50	40—50	2,0	0,02 0,01	3 2
То же	30—50	40—50	2,0	0,02	4	То же	30—50	40—50	2,0	0,02 0,01	3 2
»	30—50	40—50	1,5	0,02	4	»	30—50	40—50	1,5	0,02 0,01	4 2

цилиндрических роликов (до и после термообработки)

Чистовое						Окончательное					
Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
Э12С1В	30—50	95—115	2,0	0,04	1	Э12С1В	30—50	70—95	2,0	0,02	2
То же	30—50	95—115	2,5	0,04	1	То же	30—50	95—115	2,5	0,02	2
»	50—30	95—115	2,5	0,04	1	»	30—50	95—115	2,0	0,02	2
»	30—50	95—115	2,0	0,04	1	»	30—50	70—95	2,0	0,015	2
Э12СМ2В	30—50	95—115	2,0	0,03	1	Э12СМ2В	30—50	70—95	2,0	0,115	2

15. Режимы шлифования цилиндрическ

Диаметр роликов в *мм*	Размеры шлифовального круга в *мм*	Шлифование прутков						Предваритель					
		Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга	Глубина шлифования на проход (на ⌀) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ⌀) в *мм*
Игольчатые ролики												
0—1,8	350×100	Э40СТ1К	—	—	—	—	—	Э16Т2В	30—50	70—90	3	0,10 0,04 0,02
1,8—3,5	350×100	То же	30—50	70—90	5	0,20 0,15	1 1	То же	—	—	—	—
3,5—6,0	500×150	»	30—50	70—90	5	0,20 0,15	1 1	—	—	—	—	—
Игольчатые ролики												
0—1,8	350×100	Э40СТ1К	—	—	—	—	—	Э16Т2В	30—50	70—90	3	0,15 0,10
1,8—3,5	350×100	То же	30—50	70—90	5	0,15	1	То же	30—50	70—90	3	0,15 0,10
3,5—6,0	350×150	»	30—50	70—90	5	0,15	1	»	30—50	50—70	3	0,15 0,10

16. Режимы шлифования торцов коротких

Диаметр роликов в *мм*	До термообработки						Предвари		
	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту	Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на два торца на проход в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту
5—10	Э25СТ1К	30—50	1,3	110	0,2	1	ЭБ16СТ1Б	30—50	1,3
10—16	То же	30—50	1,5	90	0,2	1	То же	30—50	1,5
16—20	»	30—50	1,3	80	0,2	1	ЭБ16С2Б	30—50	1,3
20—30	Э40С2К	30—50	1,3	70	0,2	1	То же	30—50	1,2
30—40	То же	30—50	1,2	55	0,2	1	»	30—50	1,2
40—50	»	30—50	1,0	45	0,2	1	ЭБ16С1Б	30—50	1,0
50—60	»	30—50	1,0	45	0,2	1	То же	30—50	1,0

Примечание. Размеры шлифовального круга 585×60 *мм*.

поверхности игольчатых роликов

ное	Чистовое						Окончательное					
Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифования круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Угол наклона оси ведущего круга в град.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
для карданных подшипников												
1 1 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	Э16Т2В	30—50	95—115	2,5	0,10	1	Э12Т2В	30—50	70—90	2,0	0,02	1
—	То же	30—50	70—90	2,5	0,06 0,05	1 1	То же	30—50	70—90	2,0	0,02	1
со сферическим торцом												
1 1	Э16Т2В	30—50	70—90	2,5	0,05 0,03	1 1	Э12Т2В	30—50	70—90	2,0	0,02	1
1 1	То же	30—50	70—90	2,5	0,05 0,03	1 1	То же	30—50	70—90	2,0	0,02	1
1 1	»	30—50	70—90	2,5	0,03 0,03	1 1	»	30—50	70—90	2,0	0,02	1

точеных цилиндрических роликов (до и после термообработки)

гельное			Окончательное					
Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на два торца на проход в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту	Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на два торца на проход в *мм*	Число проходов
110	0,2	1	ЭБ12СТ1Б	30—50	1,3	110	0,06	1
90	0,2	1	То же	30—50	1,5	90	0,06	1
80	0,20 0,08	1 1	ЭБ12С2Б	30—50	1,3	80	0,06	1
70	0,10 0,08	2 1	То же	30—50	1,2	70	0,06	1
55	0,10 0,08	2 1	ЭБ12С1Б	30—50	1,2	55	0,06	1
45	0,15 0,08	2 1	То же	30—50	1,0	45	0,05	1
45	0,15 0,08	2 1	»	30—50	1,0	45	0,05	1

17. Режимы шлифования торцов длинных цилиндрических роликов (до и после термообработки)

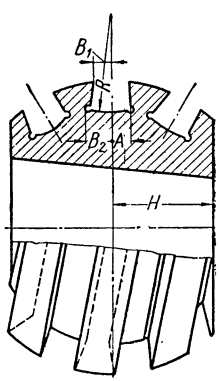
Диаметр роликов в *мм*	До термообработки					После термообработки				
	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту	Количество роликов в минуту	Глубина шлифования на два торца на проход в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов диска в минуту	Глубина шлифования на два торца на проход в *мм*	Число проходов	Количество роликов в минуту
8—12	Э25СТ1К	30—50	1,5	90	0,27	1	ЭБ16СТ1Б	30—50	1,5	0,18	1	90
13—15	То же	30—50	1,5	90	0,27	1	То же	30—50	1,5	0,12 0,06	1 1	90
16—20	»	30—50	1,3	80	0,30	1	»	30—50	1,3	0,12 0,06	1 1	80

Примечание. Размеры шлифовального круга 585×60 *мм*.

Шлифование роликов

а) Шлифование сферической поверхности. Шлифование сферической поверхности производят на бесцентровошлифовальных станках модели 2 и 2А двумя методами: на проход (продольная подача) и врезанием (поперечная подача). Метод продольной подачи производительнее, но менее точен. Поэтому он используется на операциях предварительного и, в некоторых случаях чистового шлифования поверхности качения роликов. Метод врезания применяют как на операциях предварительного, чистового, так и окончательного шлифования.

Для шлифования на проход ведущий барабан (фиг. 10) изготовляют из стали ШХ15 и подвергают термообработке до твердости *RC* 60.



Фиг. 10. Ведущий барабан для шлифования (на проход) бочкообразных роликов на бесцентровошлифовальном станке.

Загрузочное устройство ориентирует ролики противобазовым (вогнутым) торцом вперед.

Из всех известных методов предварительного шлифования метод на проход более производителен.

Наладка бесцентрового станка для шлифования сферической поверхности ролика методом врезания заключается в следующем:

1. Алмаз при правке шлифовального круга устанавливают по центру. Приспособление для правки круга должно быть жестким и с автоматическим циклом работы.

2. Прилегание ведущего круга к обрабатываемому ролику (для большей

точности) осуществляется двумя кромками. Профиль ведущего круга может быть получен правкой алмазом или при его изготовлении.

3. Направляющую опору по высоте для предварительного и чистового шлифования устанавливают так, чтобы центр обрабатываемого ролика был выше линии центров на $^1/_2$, а для окончательного шлифования на $^1/_4$ его диаметра. Ось ведущего круга наклоняют на угол 0,5—1,5°.

4. Для уменьшения трения упор и торец ролика должны быть шлифованы. Упор должен быть неподвижным и его центр устанавливается несколько выше центра ролика.

5. Число поступательных движений (подач) суппорта ведущего круга перпендикулярно его оси в единицу времени определяет производительность. С увеличением требований к точности и микрогеометрии шлифованной поверхности число поступательных движений суппорта ведущего круга уменьшают.

б) Шлифование торцов. Шлифование плоских торцов роликов производят на плоскошлифовальных станках МШ-25, сферических торцов — на станках МШ-3756 и МШ-155 с цельными кругами или абразивными брусками.

Для получения сферы на торцах роликов на стол станка устанавливают съемный стол с радиусом сферы, соответствующим радиусу сферы шлифуемых роликов.

Установку роликов на столе станка производят вручную. Эти станки мало производительны. Припуски на обработку сферической поверхности и торцов роликов даны в табл. 5 и 7. Режимы шлифования сферической поверхности, размеры и характеристика шлифовальных кругов приведены для шлифования на проход в табл. 18, для шлифования врезанием — в табл. 19.

Режимы шлифования, размеры и характеристика кругов для шлифования торцов приводятся в табл. 20. Припуск и глубина шлифования даны на диаметр.

Допуски на геометрические параметры бочкообразных роликов нормального класса на различных операциях шлифования поверхности качения даны в табл. 9. Формулы расчета технологического времени приведены в табл.10.

Состав охлаждающей жидкости тот же, что и для конических роликов.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОЧНЫХ РОЛИКОВ

Производство точных роликов для подшипников класса А, АВ и В, а также подшипников по специальным ТУ отличается от производства роликов нормального класса точности введением нескольких дополнительных операций, главными из которых являются дополнительный отпуск и доводка. Обычно заготовкой точного ролика служит ролик нормального класса.

Дополнительный отпуск вводят перед операцией чистового шлифования поверхности качения.

Доводка или тонкое шлифование поверхности качения и торцов роликов производят после операции окончательного шлифования в целях получения чистоты поверхности 9—11-го классов и точности I и II степени и в основном отличается от обычного шлифования применением мелкозернистых кругов и меньшей глубиной шлифования.

Доводку поверхности качения конических роликов для получения точности по классу А и АВ (см. табл. 1) и чистоты поверхности 10-го класса (см. табл. 2) производят на бесцентровошлифовальных станках кругами из электрокорунда зернистости 220 на вулканитовой связке. Характеристика кругов и режимы шлифования указаны в табл. 21.

Охлаждающая жидкость: 2,5—3% эмульсола и 0,2% нитрита натрия. Необходима тщательная очистка жидкости от отходов.

Для улучшения микрогеометрии поверхности без повышения точности геометрической формы можно применить полирование роликов в барабанах. В барабан загружают 90 *кг* роликов, 0,075—0,1 *кг* нитрита натрия, 150 *кг* шариков диаметром 6—8 *мм* и 30—40 *кг* воды. Число оборотов барабана 20—24 в минуту, наклон его оси 45°.

Доводку поверхности качения цилиндрических роликов по классу А и АВ (см. табл. 5), с чистотой поверхности 10—11-го классов (см. табл. 2) производят на бесцентровошлифовальных станках широким (свыше 200 *мм*) кругом из карбида кремния зернистости М28 и М14 на вулканитовой или бакелитовой связке. Режимы шлифования даны в табл. 21. Торцы цилиндрических роликов доводятся между двумя чугунными дисками пастой ГОИ. Глубина шлифования до 0,01 *мм* на сторону.

18. Режимы шлифования сферической поверхности точеных бочкообразных роликов

Размеры роликов		Размеры шлифовального круга в *мм*	Предваритель			
Диаметр в *мм*	Длина в *мм*		Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Количество роликов в минуту
8—14	8—15	500×50	ЭБ25СТ1К	40—50	60	60
14—20	12—22	500×50	То же	40—50	60	60
20—25	18—27	500×63	»	40—50	50	50
25—30	24—35	500—75	»	40—50	50	50
30—40	26—42	500×75	Э25С2К	40—50	40	40
40—50	36—52	500×75	То же	40—50	40	40

19. Режимы шлифования сферической поверхности точеных бочкообразных роликов

Размеры роликов		Размеры шлифовального круга в *мм*	Предварительное						Чисто	
Диаметр в *мм*	Длина в *мм*		Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*
8—14	8—15	500×20	Э16СТ1К	30—50	90—120	10—12	0,15	2	Э10С2В	30—50
14—20	12—22	500×25	То же	30—50	90—120	10—12	0,15	2	То же	30—50
20—25	18—27	500×32	Э16С2К	30—50	90—120	9—11	0,16	2	»	30—50
25—30	24—35	500×40	То же	30—50	90—120	9—11	0,16	2	Э10С1В	30—50
30—40	26—42	500×50	»	30—50	70—90	8—10	0,15 0,11	1 2	То же	30—50
40—50	36—52	500×63	»	30—50	70—90	7—9	0,11 0,07	3 1	»	30—50
50—60	48—62	500×63	»	30—50	70—90	7—9	0,10 0,07	3 2	»	30—50

методом продольной подачи (после термообработки)

ное		Чистовое					
Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего барабана в минуту	Количество роликов в минуту	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
0,28	1	Э16СТ1В	40—50	60	60	0,12	1
0,20 0,10	1 1	То же	40—50	60	60	0,10	1
0,20 0,13	1 1	»	40—50	50	50	0,10	1
0,15 0,09	1 2	»	40—50	50	50	0,10	1
0,18 0,09	1 2	Э16С2Б	40—50	40	40	0,08	1
0,15 0,08	2 1	То же	40—50	40	40	0,08	1

методом врезания (после термической обработки)

вое				Окончательное					
Число оборотов ведущего круга в минуту	Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на проход (на ∅) в *мм*	Число проходов
90—120	10—13	0,10	1	Э10С2В	30—50	90—120	10—12	0,06	1
90—120	10—12	0,10	1	То же	30—50	90—120	10—12	0,06	1
90—120	10—12	0,10	1	»	30—50	90—120	9—11	0,05	1
90—120	9—11	0,10	1	Э10С1В	30—50	70—90	9—11	0,05	1
70—90	9—11	0,08	1	То же	30—50	70—90	8—10	0,05	1
70—90	8—10	0,08	1	»	30—50	70—90	8—10	0,05	1
70—90	8—10	0,08	1	»	30—50	70—90	6—8	0,05	1

20. Режимы шлифования сферических торцов точеных бочкообразных роликов (после термообработки)

Диаметр роликов в *мм*	Шлифовальный диск			Шлифование вогнутого торца					Шлифование выпуклого торца				
	Размеры диска в *мм*	Размеры брусков в *мм*	Характеристика брусков	Скорость шлифовального диска в *м/сек*	Число оборотов стола в минуту	Подача на оборот стола в минуту	Глубина шлифования в *мм*	Количество роликов, уложенных на столе	Скорость шлифования диска в *м/сек*	Число оборотов стола в минуту	Подача на оборот стола в *мм*	Глубина шлифования в *мм*	Количество роликов, уложенных на столе
14 — 24	290 × 125	125 × 50 × 15 125 × 60 × 15	Э25-16СМ2Б	45 — 50	10	0,01	0,08	410 — 270	45 — 50	10	0,01	0,08	620 — 400
24 — 34	290 × 125	125 × 50 × 15 125 × 60 × 15	То же	45 — 50	10	0,01	0,10	270 — 110	45 — 50	10	0,01	0,10	400 — 100
34 — 44	290 × 125	125 × 50 × 15 125 × 60 × 15	»	45 — 50	10	0,01	0,10	110 — 70	45 — 50	10	0,01	0,10	100 — 80
44 — 54	290 × 125	125 × 50 × 15 125 × 60 × 15	»	45 — 50	10	0,01	0,15	70 — 60	45 — 50	10	0,01	0,15	80 — 65
54 — 70	290 × 125	125 × 50 × 15 125 × 60 × 15	»	45 — 50	10	0,01	0,20	60 — 45	45 — 50	10	0,01	0,20	65 — 50

Примечание. Число брусков в диске равно 10 шт.

21. Режимы доводки (тонкое шлифование) поверхности качания конических, цилиндрических и бочкообразных роликов для точных и железнодорожных подшипников

Диаметр роликов в *мм*	Конические и цилиндрические (шлифование на проход)*					Бочкообразные (шлифование врезанием)					
	Характеристика шлифовального круга **	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга или барабана в минуту	Угол наклона оси ведущего круга *** в град.	Глубина шлифования в *мм* (не более)	Размеры шлифовального круга в *мм*	Характеристика шлифовального круга	Скорость шлифовального круга в *м/сек*	Число оборотов ведущего круга в минуту	Количество роликов в мин.	Глубина шлифования на диаметр в *мм*
8—10	Э5СМ2В	30 — 50	70	1,5	0,015	500×20	ЭВ10С2В	30 — 50	96	8	0,03 0,03
10—14	То же	30 — 50	70	2,0 — 2,5	0,01	500×25	То же	30 — 50	96	8	0,03 0,03
14 — 18	»	30 — 50	50	»	0,01	500×25	»	30 — 50	96	8	0,03 0,03
18—22	Э6СМ2В	30 — 50	50	1,7 — 2,0	0,01	500×32	»	30 — 50	96	7	0,03 0,03
22—30	То же	30 — 50	40	1,7 — 2,0	0,008	500×40	ЭВ10С1В	30 — 50	80	6	0,03 0,03
30—40	Э12СМ2В	30 — 50	70	То же	0,01	500×50	То же	30 — 50	80	5	0,03 0,02
40—50	То же	30 — 50	70	»	0,01	500×63	ЭВ10СМ2В	30 — 50	80	4	0,03 0,02
50—60	»	30 — 50	50	1,5	0,008	500×63	То же	30 — 50	70	4	0,02 0,02
60 — 70	»	30 — 50	50	То же	0,008	500×75	»	30 — 50	70	3	0,02 0,02

* Размеры шлифовального круга 500×150 (200) *мм*. Для доводки цилиндрических роликов применяются составные шлифовальные круги 500×600 *мм*.

** Микрометрия шлифованной поверхности по 10-му классу при обработке кругами Э5СМ2В, по 9 классу — при обработке кругами Э6СМ2В и Э12СМ2В.

*** Только для цилиндрических роликов.

Доводку поверхности качения бочкообразных роликов для получения шероховатости поверхности 9-го класса чистоты производят тонким шлифованием и полированием в барабанах. Наиболее производительный метод — тонкое шлифование при скорости круга до 50 *м/сек* и глубине шлифования 0,03—0,02 *мм* (на диаметр).

Режимы шлифования и характеристика шлифовальных кругов приведены в табл. 21.

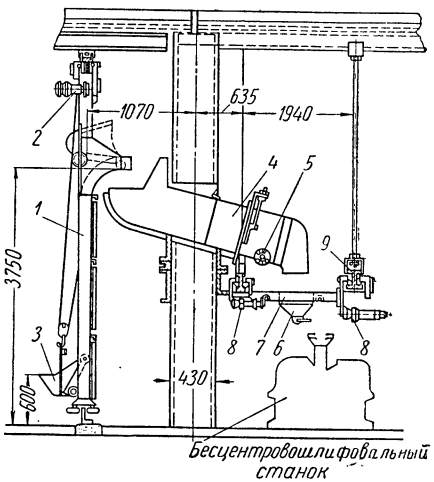
Доводка сферической поверхности роликов на бесцентровошлифовальном станке гибким кругом (6ГПЗ) на проход малопроизводительна из-за нестабильного качества абразивного инструмента. Полирование бочкообразных роликов в чашечных барабанах представляет собой малопроизводительный процесс, не обеспечивающий сохранение геометрической формы роликов, а также трудно поддающийся автоматизации. Полирование роликов производят в растворе кальцинированной соды и венской извести с применением шлифовальных порошков, корунда или кварцевого песка и шаров (отношение веса роликов к весу шаров не более 1 : 2,5). После предварительного полирования корунд или кварцевый песок заменяются венской известью для окончательного полирования. Формулы расчета технологического времени шлифования роликов приведены в табл. 10.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ РОЛИКОВ

Значительное место в автоматизированных линиях занимают вопросы транспортировки деталей.

Для транспортировки роликов из термического цеха в шлифовальный на 9ГПЗ построена бункерная эстакада, показанная на фиг. 11.

Скиповый подъемник *1* установлен у стены, отделяющей термический цех от шлифовального. Посредством привода *2* ковш *3* с загруженными в нем закаленными роликами поднимается вверх и



Фиг. 11. Принципиальная схема конструкции бункерной эстакады.

опрокидывается в бункер *4*, расположенный наклонно на уровне 3,5 *м* от пола в отверстии стены. На выходном конце бункера установлен дозатор *5*, определяющий количество роликов, загружаемых в бункер *6* развозной тележки *7*.

Привод развозной тележки *8* обеспечивает передвижение ее вдоль линии бесцентровошлифовальных станков по направляющим *9*.

Из бункера развозной тележки ролики засыпаются в загрузочные устройства станков.

Одна тележка в состоянии обслужить 5—7 бесцентровых станков.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Слонимский В. И., Теория и практика бесцентрового шлифования, Машгиз, 1951.

2. Баранов Г. Г., Рубин С. Б. и Филькин В. И., К теории сквозного бесцентрового шлифования, Изд-во АН СССР, 1953.

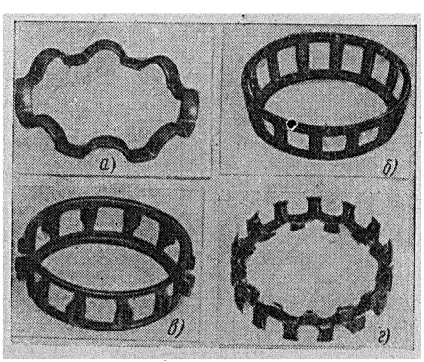
Глава XXI

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕПАРАТОРОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Сепараторы подшипников качения по способу изготовления делятся на две группы: штампованные из листового металла и массивные, получаемые точением из прутка, трубы или штучных заготовок, а также методом точного литья [3].

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВАННЫХ СЕПАРАТОРОВ

Штампованные сепараторы изготовляют преимущественно из листового металла марок Ст. 08, Ст. 10, Л62. В зависимости от особенностей технологического



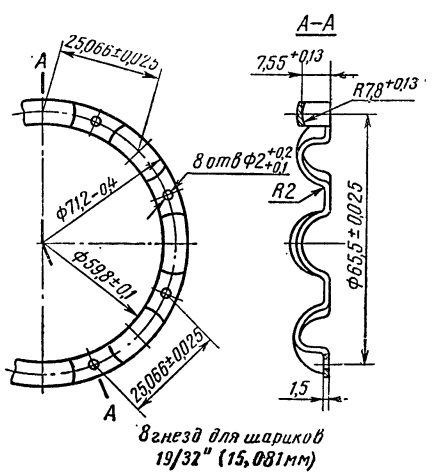
Фиг. 1. Некоторые формы штампованных сепараторов: *а* **— змейковый полусепаратор шарикоподшипника;** *б* **— сепаратор конического роликоподшипника;** *в* **— сепаратор подшипника с короткими цилиндрическими роликами;** *г* **— сепаратор двухрядного шарикоподшипника.**

процесса применяют: стальную низкоуглеродистую ленту (ГОСТ 503-41), латунную ленту (ГОСТ 2208-49), тонколистовую углеродистую конструкционную сталь (ГОСТ 914-56), качественную углеродистую толстолистовую сталь (ГОСТ 4041-48). Некоторые формы штампованных сепараторов показаны на фиг. 1.

По объему перерабатываемого металла превалирующими являются змейковые сепараторы шарикоподшипников и сепараторы конических роликоподшипников. В связи с этим рассматриваются технологические процессы изготовления только этих типов сепараторов подшипников качения.

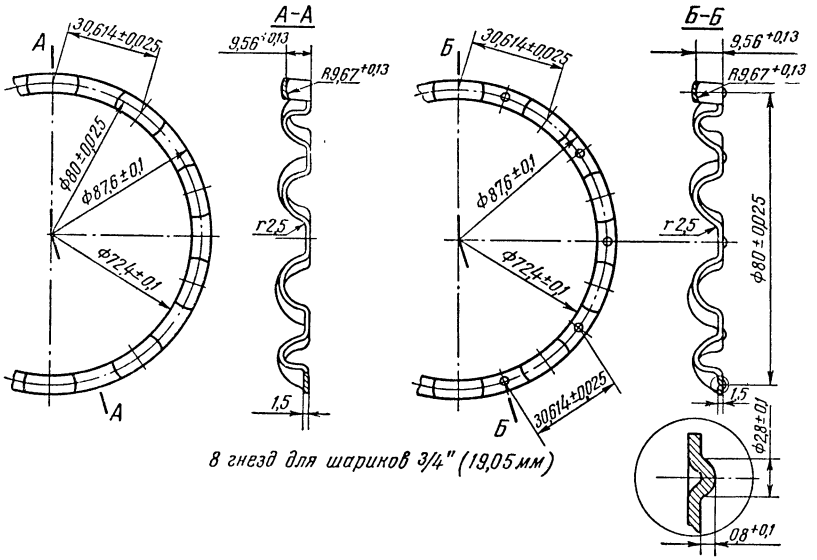
Змейковые полусепараторы

По конструктивным признакам змейковые сепараторы разделяются на соединяемые заклепками, электросваркой и загнутыми «усиками». В случае соединения заклепками сепаратор собирается из одинаковых полусепараторов (фиг. 2),

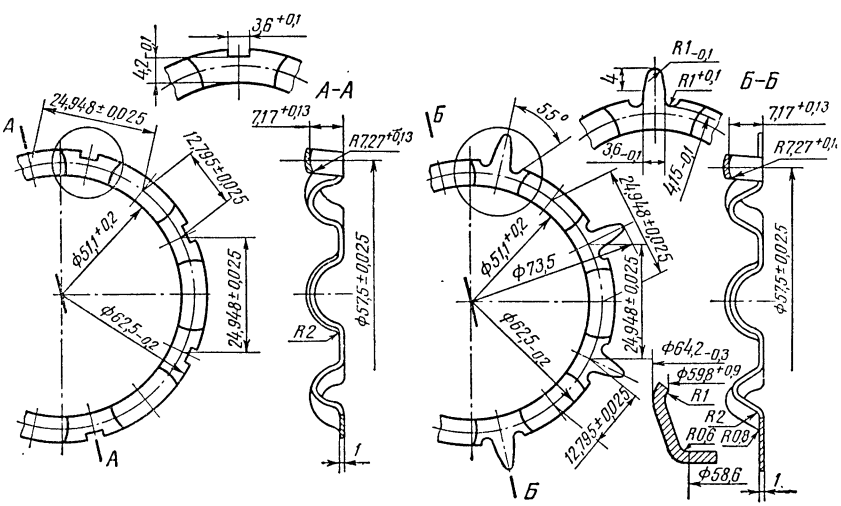


Фиг. 2. Змейковый полусепаратор. Соединение полусепараторов производят заклепками.

что является преимуществом данной конструкции. К недостаткам конструкции относятся: некоторое ослабление сечения сепаратора в месте отверстий под заклепки, а также необходимость



Фиг. 3. Правый и левый змейковые полусепараторы. Соединение в полусепаратор производят рельефной электросваркой.



Фиг. 4. Правый и левый змейковые полусепараторы. Соединение в сепаратор производят «усиками».

вставления заклепок в отверстия полусепараторов при сборке и расклепывания головок заклепок. При соединении полусепараторов рельефной электросваркой (фиг. 3) полусепараторы имеют различную форму, что несколько усложняет технологический процесс штамповки, однако при этом не ослабляется сечение полусепараторов и процесс сборки становится более технологичным. Отсутствие надежных методов контроля качества сварки не позволяет широко применить данный процесс. Соединение полусепараторов «усиками» (фиг. 4) позволяет легко автоматизировать процесс сборки подшипников, однако увеличение нормы расхода металла при штамповке и необходимость производства двух различных по конструкции полусепараторов значительно ограничивают область применения данной разновидности сепараторов.

Наиболее распространено соединение змейковых полусепараторов заклепками.

В практике отечественной и зарубежной подшипниковой промышленности применяют несколько различных технологических процессов штамповки змейковых полусепараторов, которые отличаются видом исходного металла, применяемым прессовым оборудованием и конструкцией штампов при одинаковом характере штамповочных операций: штамповка шайбы методом раздельной вырубки и пробивки или вырубкой-пробивкой в совмещенном штампе; гибка шайбы под калибровку сфер; калибровка сфер и площадок сепаратора; пробивка отверстий под заклепки. Отделочные операции: травление, галтовка, смазка, упаковка.

По применяемому исходному металлу технологические процессы можно классифицировать на штамповку из бунтовой ленты, полосы и из штучных заготовок.

По применяемому оборудованию технологические процессы изготовления полусепараторов разделяются на четыре группы: штамповка на многопозиционных пресс-автоматах (из ленты, полосы или штучных заготовок); штамповка в ленте на пресс-автоматах; комбинированная штамповка с использованием для первых операций универсальных прессов (для штамповки из ленты, полосы, штучной заготовки) и для последующих операций — многопозиционных прессов; штамповка на универсальных прессах.

Наивыгоднейшим исходным металлом с точки зрения качества полусепараторов и производительности является бунтовая лента (1-го класса качества поверхности по ГОСТ 503-41 неполированная, мягкая, обрезная, нормальной точности изготовления). Бунтовая лента толщиной до 3 *мм* охватывает почти весь диапазон толщин змейковых полусепараторов.

Оптимальная технология штамповки сепараторов определяется двумя основными требованиями: высокой производительностью и высоким качеством полусепараторов. Наилучшее качество сепараторов по геометрии и чистоте поверхности дают технологические процессы штамповки на многопозиционных прессах или штамповка в ленте на пресс-автоматах. Трудоемкость этих двух процессов зависит от числа ходов пресса при одинаковой норме обслуживания. Учитывая, что пресс-автоматы для штамповки в ленте имеют значительно большее число ходов, чем многопозиционные, для мелких типоразмеров следует рекомендовать этот вид оборудования, не нашедший пока широкого применения при производстве змейковых полусепараторов [4].

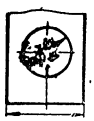
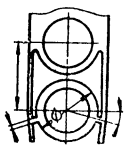
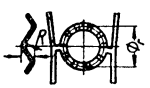
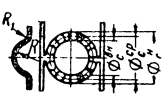
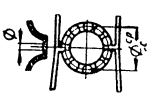
Как указывалось, штамповка змейковых полусепараторов требует четырех—пяти операций. Если многопозиционный пресс имеет одиннадцать или большее число позиций, то можно штамповать полусепараторы в два потока. При меньшем числе позиций для штамповки в два потока необходимо сочетать штамповку из ленты и штамповку из штучной заготовки или только штамповку из штучных заготовок.

Приняв трудоемкость штамповки полусепараторов в ленте на быстроходном пресс-автомате (при числе ходов ползуна 300—400 в минуту) за единицу, трудоемкость других технологических процессов будет больше в K раз.

Коэффициент, характеризующий методы штамповки	K
Штамповка в ленте на пресс-автомате . . .	1
Двухпоточная штамповка на многопозиционных прессах	5
Однопоточная штамповка на многопозиционных прессах	10
Штамповка на универсальных прессах . .	30

Технологический процесс штамповки змейковых полусепараторов в ленте представлен в табл. 1. Технологический процесс штамповки змейковых полусепараторов на многопозиционных прессах в два потока с использованием двух бунтов показан в табл. 2.

1. Технологический процесс изготовления змейковых полусепараторов в ленте на пресс-автоматах

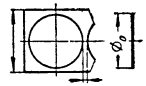
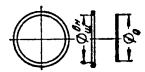
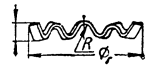
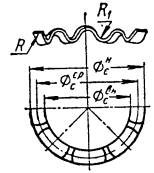
№ операции	Наименование операции или переходов	Наименование инструмента	Эскиз детали или полуфабриката	Оборудование	Контроль
1	Пробивка отверстий	Штамп		Пресс-автомат	Масштабная линейка, микрометр, штангенциркуль
2	Пробивка промежутка между шайбами	»			Штангенциркуль
3	Гибка [1]	»			Штангенциркуль
4	Калибровка сфер	»			Приспособление для проверки люфта шариков. Пробка и кольцо предельное
5	Пробивка отверстий под заклепки	»			
6	Вырубка	»			
7	Зачистка заусенцов	—	—	Заточной станок	Осмотр
8	Галтовка	—	—	Галтовочный барабан	
9	Травление [2]	—	—	Травильная ванна	
10	Галтовка	—	—	Галтовочный барабан	
11	Горячая смазка [3]	—	—	Ванны	
12	Упаковка	—	—	Стол	

[1] Высота гибки определяется достаточным обжатием вокруг ограничителя.
[2] Травление применяется в зависимости от состояния поверхности металла.
[3] В случае работы на поток сборки горячая смазка не применяется.

2. Технологический процесс изготовления змейковых полусепараторов в два потока на многопозиционных прессах

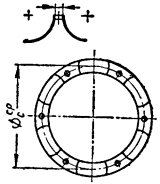
Схема использования позиций пресса при штамповке из двух бунтов

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
Операции					Выгрузка	Операции				
I Вырубка диска	II Пробивка отверстия	III Гибка	IV Калибровка сфер	V Пробивка отверстий под заклепки		I Вырубка диска	II Пробивка отверстия	III Гибка	IV Калибровка сфер	V Пробивка отверстий под заклепки

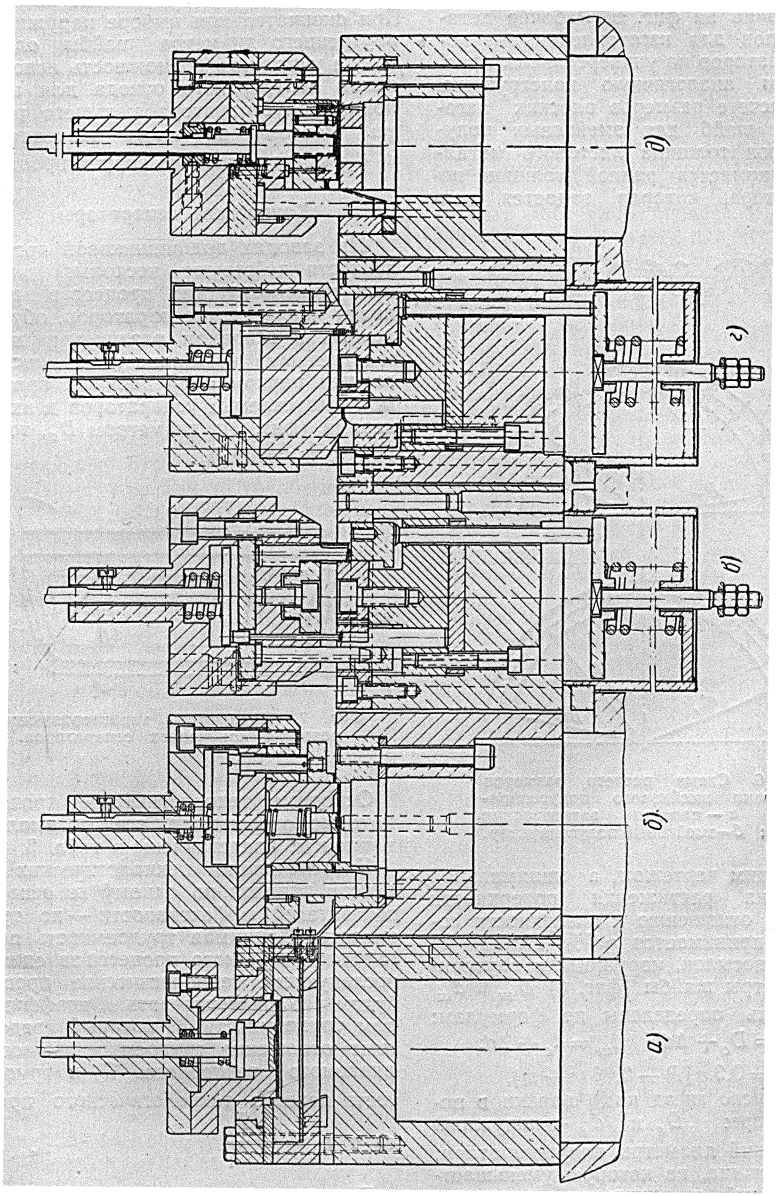
№ операций	Наименование операций или переходов	Наименование инструмента	Эскиз детали или полуфабриката	Оборудование	Средства контроля
1	Вырубка	Штамп		Многопозиционный пресс	Масштабная линейка, микрометр, штангенциркуль
2	Пробивка отверстия	»			Штангенциркуль
3	Гибка[1]	»			Штангенциркуль
4	Калибровка сфер[2]	»			Приспособление для проверки зазора шариков, штангенциркуль

Продолжение табл. 2

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
Операции					Выгрузка	Операции				
I Вырубка диска	II Пробивка отверстия	III Гибка	IV Калибровка сфер	V Пробивка отверстий под заклепки		I Вырубка диска	II Пробивка отверстия	III Гибка	IV Калибровка сфер	V Пробивка отверстий под заклепки

№ операций	Наименование операций или переходов	Наименование инструмента	Эскиз детали или полуфабриката	Оборудование	Средства контроля
5	Пробивка отверстий под заклепки	Штамп		Многопозиционный пресс	Приспособление для проверки зазора шариков, предельная пробка
6	Зачистка заусенцев	—	—	Станок	Осмотр
7	Галтовка	—	—	Галтовочный барабан	
8	Травление[3]	—	—	Травильная ванна	
9	Галтовка	—	—	Галтовочный барабан	
10	Горячая смазка[4]	—	—	Ванны	
11	Упаковка	—	—	Стол	

[1] Высота гибки определяется достаточным обжатием вокруг ограничителя.
[2] Окончательную проверку зазора производят с пробитыми отверстиями под заклепки.
[3] Травление применяется в зависимости от состояния поверхности металла.
[4] В случае работы на поток горячая смазка не применяется.



Фиг. 5. Конструкция штамповочного инструмента для изготовления змейковых полусепараторов на многопозиционном прессе. Штампы для: *а* — вырубки диска; *б* — пробивки отверстия в диске; *в* — гибки шайбы; *г* — калибровки полусепаратора; *д* — пробивки в полусепараторе отверстий под заклепки.

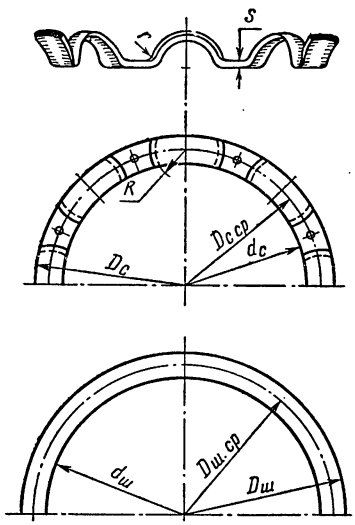
Конструкция штамповочного инструмента для изготовления змейковых полусепараторов на многопозиционных прессах показана на фиг. 5. Рабочие детали штампов для изготовления змейковых сепараторов на универсальных прессах имеют аналогичную конструкцию.

При расчете размеров плоских заготовочных шайб для змейковых полусепараторов толщина листового металла s_0 принимается равной толщине полусепаратора, которая задается конструкторским чертежом, а минимальная деформация растяжения поверхности шайбы по отношению к поверхности сепаратора принимается ≈7%. Исходя из этих предпосылок, наружный и внутренний диаметры шайбы (фиг. 6) $D_ш$ и $d_ш$ могут быть определены по формулам:

$$D_ш = D_c + \Delta d; \quad d_ш = d_c + \Delta d;$$

$$\Delta d = 0{,}3\, n\,[R - 0{,}86\,(r + s)],$$

где n — число гнезд под шарики в полусепараторе; D_c и d_c — наружный и внутренний диаметры полусепаратора; Δd — величина, на которую уменьшается наружный и внутренний диаметры шайбы при штамповке из нее полусепаратора; R — радиус сферы полусепаратора; r — радиус перехода от сферы в площадку полусепаратора.

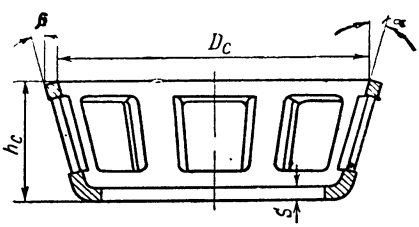


Фиг. 6. Схема расчета размеров заготовки змейкового полусепаратора: *а* — плоская заготовочная шайба; *б*—змейковый полусепаратор.

Для уменьшения боковых отходов наружный диаметр плоских шайб должен иметь минимально допустимые значения. При окончательном выборе наружного и внутреннего диаметра шайбы следует также учитывать возможность использования центрального отхода для штамповки полусепаратора меньшего размера. Поэтому расчетные значения $D_ш$ и $d_ш$ могут несколько корректироваться.

Конические сепараторы

На заводах подшипниковой промышленности действуют несколько различных технологических процессов штамповки конических сепараторов, обусловленных в основном различными производственными возможностями, располагаемым парком оборудования, программой выпускаемых сепараторов и их размерами (фиг. 7): диаметром D_c, толщиной s, высотой h_c.



Фиг. 7. Параметры, характеризующие размеры конических сепараторов.

Основные технологические процессы, которые охватывают все оптимальные варианты, представлены в табл. 3.

Классификация технологических процессов принята по одному из основных показателей эффективности — по трудоемкости. Принимая трудоемкость первого технологического процесса за единицу, последующие технологические процессы будем характеризовать коэффициентом трудоемкости K, который представляет отношение трудоемкости рассматриваемого техпроцесса T_i к трудоемкости первого технологического процесса, т. е. $K_i = \dfrac{T_i}{T_1}$.

Первые два технологических процесса — полный цикл штамповки конических сепараторов на многопозиционных прессах; третий и четвертый технологические процессы — комбинированная штам-

повка на многопозиционных и универсальных прессах; для них

$$T_{3,4} = zT_1 \frac{n_1}{n_i} + T_1,$$

где z — число операций на универсальном прессе, n_i — среднее число ходов ползуна универсального пресса в минуту; n_1 — число ходов ползуна многопозиционного пресса в минутах, обычно $\frac{n_1}{n_i} = \frac{2}{3}$, следовательно:

$$K_{3,4} = 1 + \frac{2}{3} z.$$

От пятого до восьмого технологические процессы предусматривают штамповку только на универсальных прессах. В этом случае

$$K_i = \frac{2}{3} z_{np},$$

где z_{np} — приведенное число операций, учитывающее относительную сложность однородных операций по трудоемкости.

Например, если принять трудоемкость операций одновременной пробивки окон за единицу, то последовательная пробивка окон на приспособлении дает увеличение трудоемкости в 3,2 раза, а раздельная пробивка увеличивает трудоемкость в 28 раз. Если взять другую операцию — калибровку окон, то, приняв одновременную калибровку за единицу, получим среднее увеличение трудоемкости при раздельной калибровке в 9 раз и т. д.

Технологический процесс № 1 — экономически наиболее эффективный, требует только семь позиций, что упрощает подбор многопозиционных прессов и уменьшает расход инструмента.

Технологический процесс № 2 имеет коэффициент трудоемкости 1,1. Повышение трудоемкости на 10% вызвано первыми подготовительными операциями — резкой сварных труб на мерные цилиндрические заготовки, галтовкой и травлением их перед штамповкой. Положительной стороной технологического процесса № 2 следует считать, что он повышает коэффициент использования металла в 2 раза и снижает расход инструмента на 28% (на два штампа меньше, чем по технологическому процессу № 1). При автоматизации подготовительных операций технологический процесс № 2 дает более низкую себестоимость изготовления сепараторов, чем по технологическому процессу № 1.

Технологический процесс № 3 предусматривает выполнение первых четырех операций на многопозиционном прессе, точно копируя соответствующие операции технологического процесса № 1, что упрощает переход к этому выгоднейшему варианту № 1, так как не требуется переделки штампов первых операций.

Если число позиций многопозиционного пресса равно восьми или более, то при достаточном давлении пресса операции могут выполняться в два потока.

Технологический процесс № 4 аналогичен технологическому процессу № 2, но операции одновременной пробивки и калибровки окон, а также операция растяжки выполняются на универсальных прессах. Коэффициент трудоемкости этого варианта 3,3.

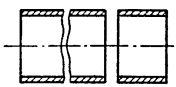
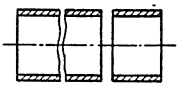
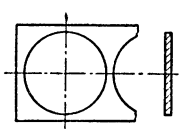
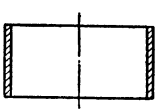
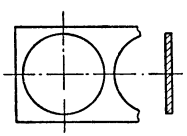
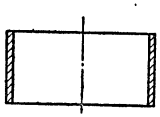
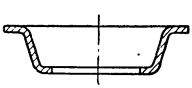
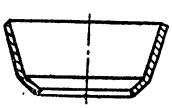
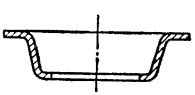
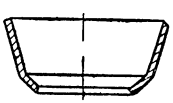
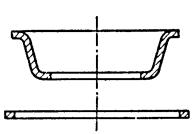
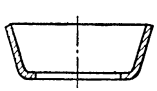
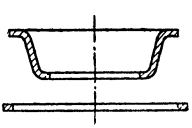
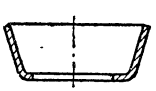
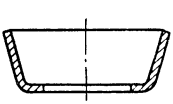
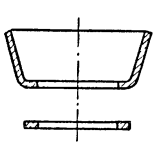
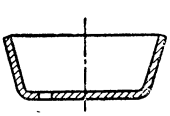
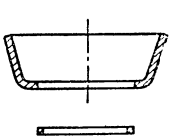
Крупногабаритные (мелкосерийные) сепараторы экономически выгодно штамповать на универсальных прессах по технологическим процессам № 7 и 8. Потери в трудоемкости компенсируются экономией на стоимости штампов и инструмента. Сепараторы средних серий (годовая программа 10—50 тыс.) следует изготовлять по технологическим процессам № 5 и 6, причем для сепараторов толщиной до 3 *мм* применяется вариант № 5 с операцией одновременной пробивки окон, а для сепараторов толщиной от 3 до 4 *мм* — вариант № 6 с пробивкой окон на приспособлении.

Массовые сепараторы (годовая программа более 50 тыс.) экономически целесообразно изготовлять по полному циклу штамповки на многопозиционных прессах. Цикл и средства контроля конических сепараторов при штамповке на многопозиционных прессах см. в табл. 4.

На фиг. 8 показаны общие виды штампов для изготовления из ленты сепараторов конических роликоподшипников на многопозиционном прессе по технологическому процессу № 1, на фиг. 9 — для технологического процесса № 2.

При штамповке конических сепараторов по вариантам технологического процесса № 5 и 6 вырубка плоской заготовки, вытяжка конической чашечки и пробивка в ней установочных отверстий (вариант № 6) производится в штампе, общий вид которого показан на фиг. 10. Штамп выполнен с направляющими колонками и состоит из верхней и нижней частей. В верхней части штампа укреплены пуансон-матрица *1*, пробивной пуансон *2* и выталкиватель *3*, работающий от жесткого толкателя. В нижней

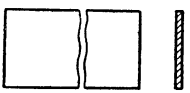
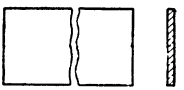
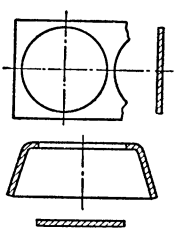
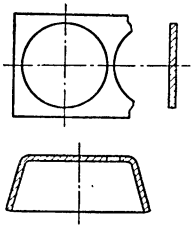
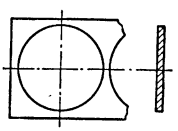
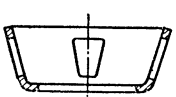
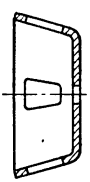
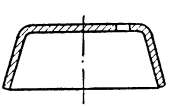
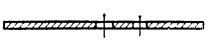
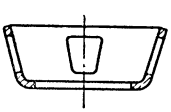
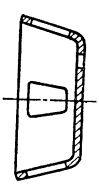
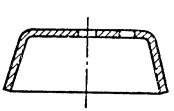
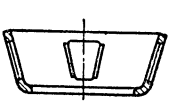
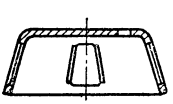
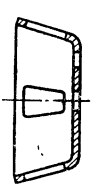
3. Варианты технологических процессов штамповки конических

№ операции	Полный цикл штамповки на многопозиционном прессе		Комбинированный цикл штамповки на многопозиционном и универсальных прессах	
	Из ленты	Из сварных труб	Из ленты	Из сварных труб
	Вариант I	Вариант II	Вариант III	Вариант IV
0		Резка труб на заготовки. Травление и галтовка заготовок 		Резка труб на заготовки, травление и галтовка заготовок 
1	Вырубка диска 	Загрузка заготовок в магазин 	Вырубка диска 	Загрузка заготовок в магазин 
2	Вытяжка, пробивка дна 	Формовка конуса и подгибка борта 	Вытяжка, пробивка дна 	Формовка конуса и подгибка борта 
3	Обрубка борта 	Окончательная подгибка борта и калибровка конуса 	Обрубка борта 	Окончательная подгибка борта и калибровка конуса 
4	Протяжка и калибровка конуса 	Обрубка дна 	Протяжка и калибровка конуса 	Обрубка дна 

сепараторов и значения относительной трудоемкости процессов

Штамповка на универсальных прессах

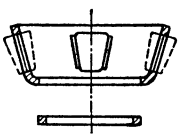
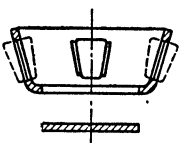
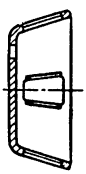
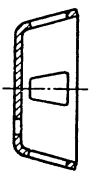
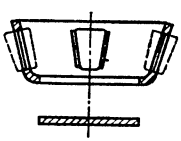
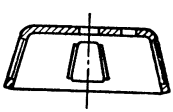
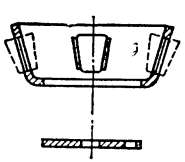
Из ленты или листа

Вариант V	Вариант VI	Вариант VII	Вариант VIII
Резка ленты на полосы на рихтовально-отрезном агрегате 		Резка листа на полосы на гильотинных ножницах 	
Вырубка диска, вытяжка чашечки и пробивка дна 	Вырубка диска, вытяжка чашечки и пробивка установочных отверстий 	Вырубка диска 	
Одновременная пробивка окон 	 Последовательная пробивка окон в приспособлении	Вытяжка чашечки и пробивка установочных отверстий 	Пробивка установочных отверстий в диске 
 Одновременная калибровка окон		 Последовательная пробивка окон в приспособлении	Вытяжка чашечки 
Подрезка торца на токарном станке 		Одновременная калибровка окон 	 Последовательная пробивка окон

№ операции	Полный цикл штамповки на многопозиционном прессе		Комбинированный цикл штамповки на многопозиционном и универсальных прессах	
	Из ленты	Из сварных труб	Из ленты	Из сварных труб
	Вариант I	Вариант II	Вариант III	Вариант IV
5	Одновременная пробивка окон  На универсальных прессах			
6	Одновременная калибровка окон  На универсальных прессах			
7	Растяжка и обрубка дна [1]  На универсальных прессах			
8	Отделочные операции: галтовка, промывка, зачистка заусенцев,			
Коэффициент K	1,0	1,1	3,0	3,3

[1] При изготовлении из электросварных труб обрубка дна может не производиться.

Продолжение табл. 3

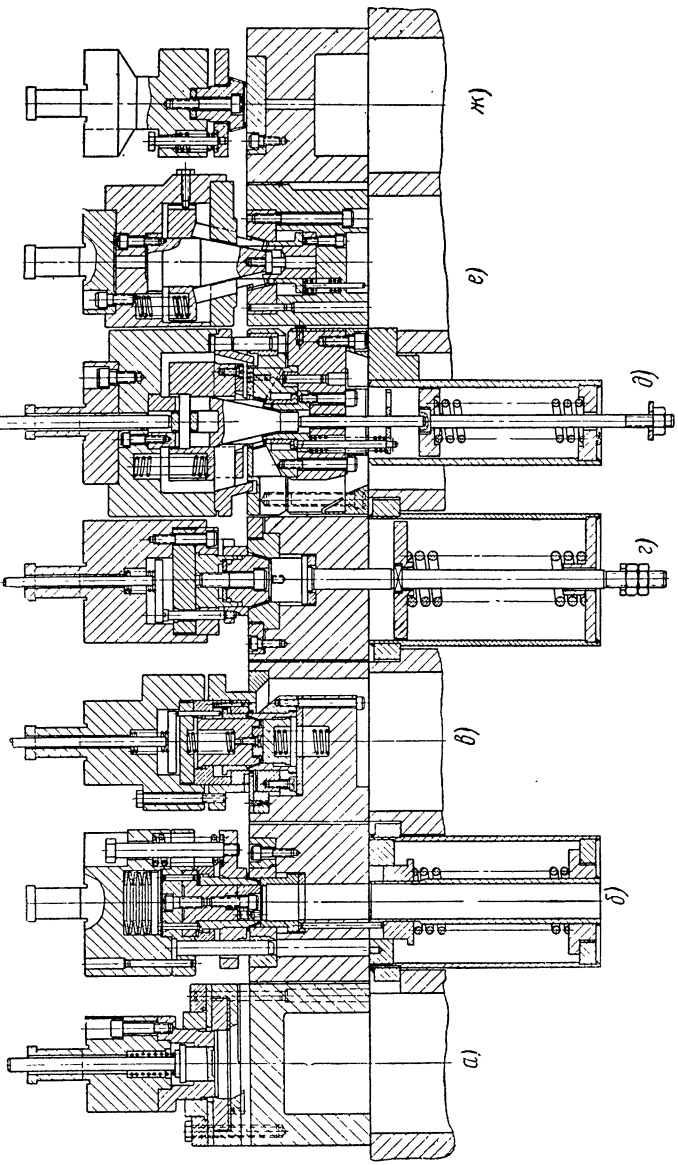
Штамповка на универсальных прессах			
Из ленты или листа			
Вариант V	Вариант VI	Вариант VII	Вариант VIII
Обрубка дна и растяжка 	Вырубка дна и растяжка 	 Подрезка торца на токарном станке	 Подрезка торца на токарном станке
		Пробивка дна и растяжка 	Раздельная калибровка окон 
			Пробивка дна и растяжка 
травление, галтовка, горячая смазка			
4,0	5,6	6,7	30,0

4. Цикл и средства контроля конических сепараторов при штамповке на многопозиционных прессах из ленты и заготовок из электросварных труб[1]

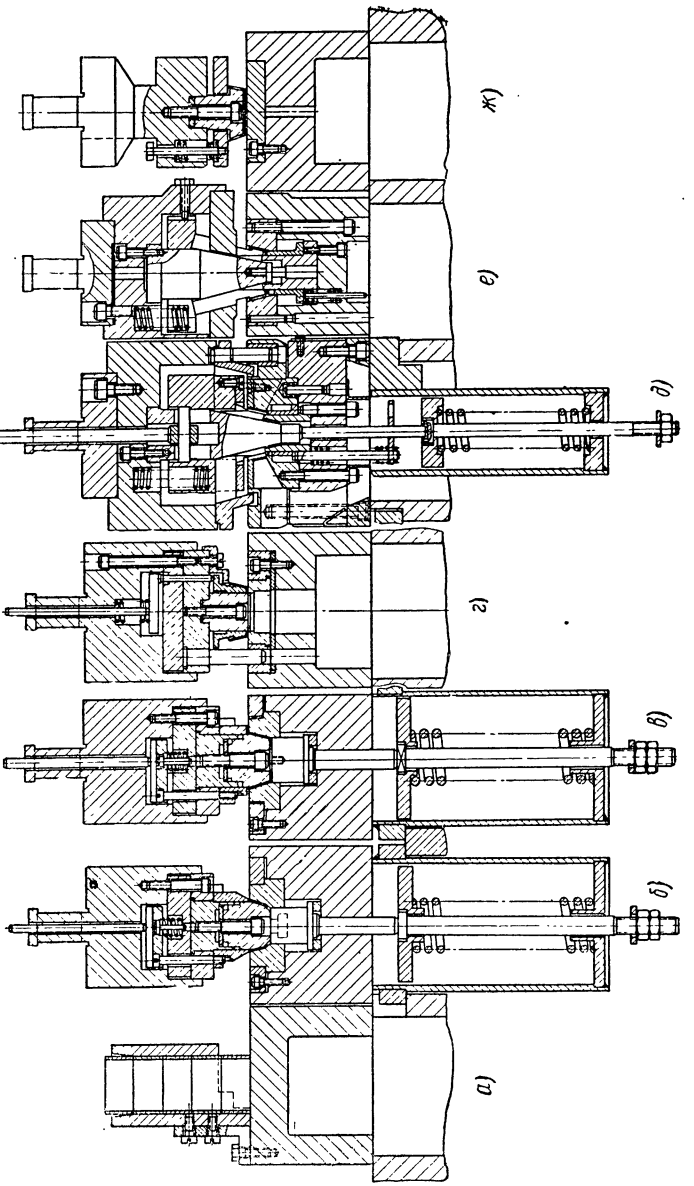
Операция	Контролируемый параметр №	Контролируемый параметр Наименование	Средства контроля	% контроля
Вырубка диска	1	Толщина и ширина ленты	Микрометр Штангенциркуль	0,5
	2	Диаметр диска	Штангенциркуль	0,5
	3	Ширина перемычки	То же	2,0
	4	Качество поверхности	Осмотр. Эталон	5,0
Вытяжка и пробивка отверстия	5	Диаметр и угол конуса наружной поверхности	Шаблон предельный	2,0
	6	Высота сепаратора	Штангенциркуль	2,0
Обрубка борта	7	Диаметр фланца	То же	2,0
Протяжка и калибровка	8	Диаметр и угол конуса наружной поверхности	Шаблон предельный	2,0
	9	Высота сепаратора	Штангенциркуль	2,0
	10	Неравномерность высоты сепаратора	То же	2,0
Одновременная пробивка окон	11	Диаметр и угол конуса наружной поверхности	Шаблон предельный	2,5
	12	Высота окон	Штангенциркуль	
	13	Высота и неравномерность верхнего борта	Шаблон предельный	
	14	Высота и неравномерность нижнего борта	Штангенциркуль	
	15	Неравномерность ширины перемычки	То же	
	16	Высота сепаратора	»	
Одновременная калибровка окон	17	Диаметр и угол конуса наружной поверхности	Шаблон предельный	2,5
	18	Высота окон	Штангенциркуль	
	19	Глубина калибровки	То же	
	20	Легкость вращения подшипника	Комплект колец и роликов	
Растяжка и обрубка дна	21	Диаметр между крайними внутренними точками роликов, вставленных в сепаратор	Пробка предельная	2,5
	22	Защелкивание внутреннего кольца	Комплект колец и роликов	
	23	Легкость вращения подшипника		
	24	Диаметр отверстия в дне	Штангенциркуль	
	25	Эксцентричность вырубки отверстия в дне	То же	
Галтовка, травление	26	Качество поверхности	Осмотр. Эталон	2,5
Окончательный контроль	27	Проверка параметров 2, 13, 14, 15, 16, 18, 21 — 25	Те же, что и в указанных параграфах	1,0
Горячая смазка	28	Качество смазки	Осмотр	100,0

Примечание. При штамповке конических сепараторов из электросварных труб контролируются: при резке труб на мерные заготовки — наружный диаметр трубы, толщина стенки трубы, высота заготовки, качество поверхности трубы; при формовке конуса и подгибке борта — геометрия наружной поверхности полуфабриката; при окончательной подгибке борта и калибровке конуса — геометрия наружной поверхности и высота полуфабриката; при обрубке дна — диаметр отверстия и эксцентричность отверстия в дне.

[1] При штамповке конических сепараторов по другим технологическим процессам применяются аналогичный цикл и средства контроля.

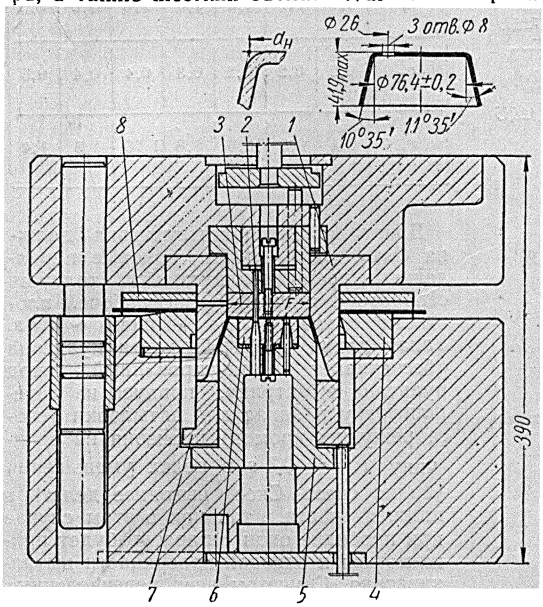


Фиг. 8. Конструкция штамповочного инструмента для изготовления конических сепараторов из ленты на многопозиционном прессе: *а* — вырубка шайбы; *б* — предварительная вытяжка конической чашечки; *в* — обрубка борта предварительно вытянутой чашечки; *г* — окончательная вытяжка конической чашечки; *д* — одновременная пробивка окон изнутри в полуфабрикате конического сепаратора; *е* — одновременная калибровка окон конического сепаратора; *ж* — растяжка конического сепаратора.



Фиг. 9. Конструкция штамповочного инструмента для изготовления конических сепараторов из трубосварных заготовок на многопозиционных прессах: *а* — загрузочный бункер; штампы для: *б* — формовки конуса и подгибки борта; *в* — окончательной подгибки борта; *г* — обрубки борта; *д* — одновременной пробивки окон изнутри в полуфабрикате конического сепаратора; *е* — одновременной калибровки окон конического сепаратора; *ж* — растяжки конического сепаратора.

части штампа крепятся вырубная матрица *4*, вытяжной пуансон *5*, пробивная матрица *6* и съемник *7*, работающий от пневматического или пружинного буфера, а также жесткий съемник для боковых отходов *8*. Лента подается до упора между боковыми направляющими. При рабочем ходе ползуна происходит вырубка плоской заготовки, вытяжка конической чашечки и пробивка установочных отверстий. При обратном ходе ползуна отход ленты снимается с вырубного пуансона жестким съемником, а отштампованная коническая чашечка выталкивается из вытяжной матрицы.



Фиг. 10. Конструкция штампа для вырубки плоской заготовки конического сепаратора 7610, вытяжки заготовки и пробивки отверстий на универсальном прессе.

Размер F вытяжной матрицы при применении последующей одновременной вырубки изнутри всех окон и последующей одновременной калибровке всех окон определяется по формуле

$$F = d_н - (A_п + K_п),$$

где $K_п$ — суммарная величина, учитывающая припуск на перешлифовку матрицы штампа для одновременной пробивки окон и остаточную деформацию растяжения конуса сепаратора; $K_п$ = = (0,3 ÷ 0,5) *мм*; $A_п$ = (0,4 ÷ 0,6) *мм* — припуск на перешлифовку матрицы штампа для одновременной калибровки окон сепаратора.

Угол конуса пуансона принимается равным углу конуса сепаратора α, угол конуса матрицы принимается равным β (см. фиг. 7).

При назначении рабочих размеров штампа для пробивки дна учитывается, что при одновременной пробивке окон диаметр дна несколько увеличивается.

В зависимости от положения пробивных пуансонов одновременная пробивка окон сепараторов может осуществляться изнутри сепаратора или снаружи.

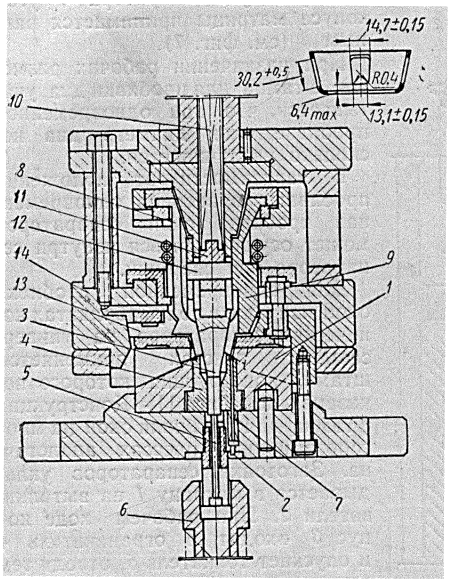
Для одновременной пробивки окон изнутри в полуфабрикатах конических сепараторов на универсальных прессах применяется штамп, конструкция которого показана на фиг. 11. Конструкция штампа для пробивки окон на многопозиционных прессах аналогична. Заготовка сепараторов укладывается в матрицу *1* на выталкиватели *2*. При рабочем ходе конус *3* входит в ограничитель *4* и опускает толкатель *5*, отводя тем самым втулку *6* пружинного буфера. Это позволяет выталкивателям под действием пружин *7* опуститься в нижнее положение, что необходимо для правильной установки заготовки сепаратора в матрице.

При дальнейшем ходе вниз пуансоны *8* сначала упираются в ограничитель, а затем распираются конусом и пробивают окна в полуфабрикатах.

При обратном ходе ползуна конус двигается вверх, а пуансоны, укрепленные в верхней части коронки *9*, некоторое время задерживаются в нижнем положении. Это достигается за счет действия пружины *10* на вкладыш *11*, траверсу *12* и коронку. В это же время толкатели *13* при помощи конусного кольца *14* перемещают пуансоны к центру штампа, выводя их из матрицы и сепаратора. Затем пуансоны вместе с коронкой и верхней частью штампа поднимаются в верхнее положение. Пружинный буфер через втулку и выталкиватели поднимает сепаратор в верхнее положение. Высечка из матрицы падает на нижнюю плиту штампа, скользит по ней и собирается на столе пресса.

Размеры пробивных пуансонов (фиг. 12) принимают равными номиналь-

ным размерам окон сепараторов, а размеры матриц определяют, зная величину зазоров. Зазоры по верхним режущим кромкам n матрицы и пуансона принимают в 4,5—5 раз меньше, чем зазоры



Фиг. 11. Конструкция штампа для одновременной пробивки окон изнутри в заготовках конических сепараторов 7610.

по нижним режущим кромкам n_1. Зазоры по боковым кромкам n_2 одинаковы и равны полусумме верхнего и нижнего зазоров.

В табл. 5 приводятся величины оптимальных зазоров в процентах от толщины исходного металла сепаратора s_0.

5. Величины оптимальных зазоров между пуансоном и матрицей в штампе для одновременной пробивки окон в заготовках конических сепараторов

s_0 в *мм*	Зазоры от s_0 в%		
	n	n_1	$2n_2$
1—1,2	3,0	15,0	18,0
1,5—2,0	3,3	16,7	20,0
2,5—3,0	4,0	18,0	22,0

Радиусы сопряжения режущих кромок в нижней части пуансона и матрицы (фиг. 12) принимают в зависимости от толщины металла по табл. 6.

6. Величины радиусов сопряжения режущих кромок пуансонов и матрицы штампа для одновременной пробивки изнутри окон в заготовках конических сепараторов в *мм*

s_0	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
r_n	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
$r_м$	0,4	0,5	0,6	0,8	1,15	1,3	1,4

Длина рабочей части пуансона l должна быть такой, чтобы боковые параллельные грани могли пройти толщину сепаратора и иметь запас рабочей плоскости справа $\sim 0{,}3\,s$ и слева $\sim 1{,}7\,s$. Такая длина рабочей части пуансона обеспечивает гарантированный вход пуансона в матрицу, припуск на перешлифовку и запас для затыловки (скоса режущих кромок) пуансона на величину $K'_з = 0{,}3\,s$ в целях уменьшения усилия среза. Скос выгоднее делать в нижней части, так как в этом случае при пробивке окон сепаратор будет прижиматься к базовой поверхности выталкивателя. С учетом всех перечисленных требований длина рабочей части пуансона l должна быть равна $3\,s$, а общая длина головки пуансона $l_1 = 7{,}4\,s$. Размер шейки пуансона $l_2 = l_1 - l = 4{,}4\,s$.

Рабочий ход пуансона X должен определяться по двум крайним положениям: крайнему раздвинутому положению (конец рабочего хода) и крайнему сомкнутому положению, которое обеспечивает свободное вхождение блока пуансонов в сепаратор. Этому условию соответствует $X = 3{,}6\,s$.

Максимальный диаметр комплекта пуансонов по нижней кромке (крайнее раздвинутое положение) $d_n = D_4 + 2\,(l_{max}\operatorname{tg}\alpha + 1{,}7s\cos\alpha)$. Соответствующий диаметр при крайнем сомкнутом положении $d'_n = d_n - 2x\cos\alpha$.

Вертикальный ход конуса $H_к$ для получения рабочего хода пуансона X

$$H_к = \frac{X}{\sin\varphi},$$

где φ — угол наклона образующей конуса; $\varphi = \beta + (2 \div 5)°$.

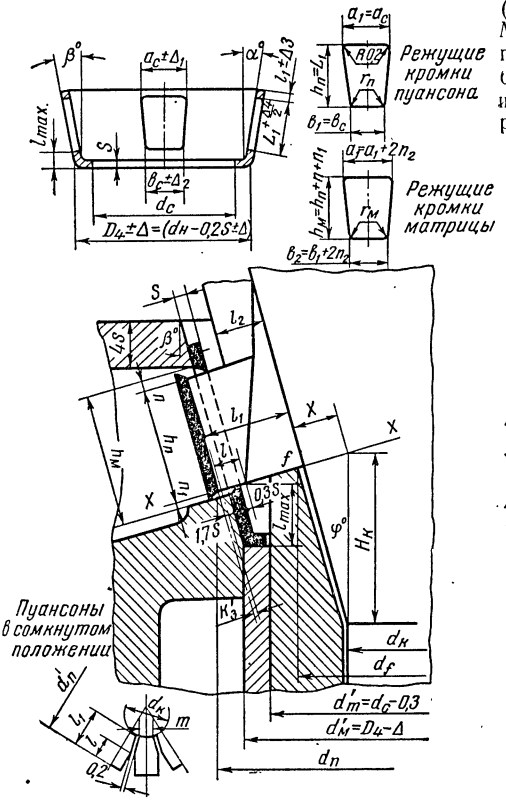
Диаметр нижнего цилиндра конуса

$$d_к = d_n - 2\,(l_1 + X) = d_n - 22\,s.$$

Диаметр ограничителя в точке f

$$d_f = d_n - 2l_1 + 1 = d_n - 14{,}8\,s + 1 \text{ мм}.$$

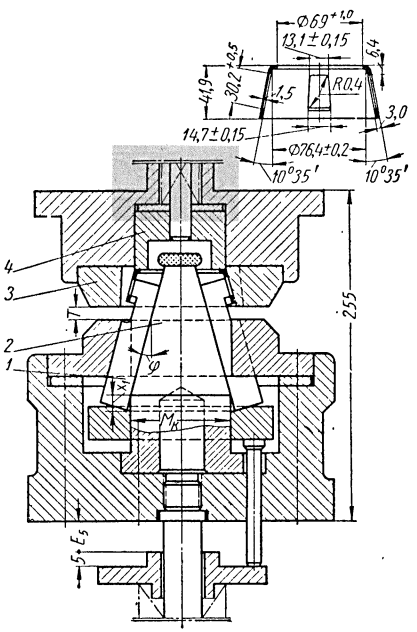
На фиг. 13 дан общий вид штампа для одновременной калибровки окон сепаратора на универсальных прессах. Заготовка с пробитыми окнами надевается на калибрующие пуансоны *1*, когда



Фиг. 12. Схема для расчета рабочих деталей штампа для одновременной пробивки окон изнутри в заготовках конических сепараторов.

ние, затем верхняя часть штампа останавливается в верхнем положении и происходит удаление откалиброванной заготовки.

Штампы для одновременной калибровки окон могут быть применены с матрицами, имеющими выемки под выступающие части калибрующих пуансонов (кулачки), и с гладкими матрицами. Матрицы без выемок для калибрующих пуансонов применяют при относительно большой толщине стенки сепаратора и во всех случаях, когда удается построить необходимый профиль пуансонов



Фиг. 13. Конструкция штампа для одновременной калибровки окон в конических сепараторах 7610.

последние под действием пружинного буфера находятся в сжатом состоянии. При рабочем ходе прижим *4* зажимает заготовку сепаратора, а при дальнейшем перемещении верхней части штампа заготовка под действием прижима и матрицы *3* опускается вниз. Калибрующие пуансоны скользят по неподвижной конической оправке *2* и производят калибровку окон сепаратора. В начале обратного хода под действием пружинного съемника калибрующие пуансоны сходятся и занимают исходное положе-

для сепараторов, окна которых получаются методом одновременной пробивки.

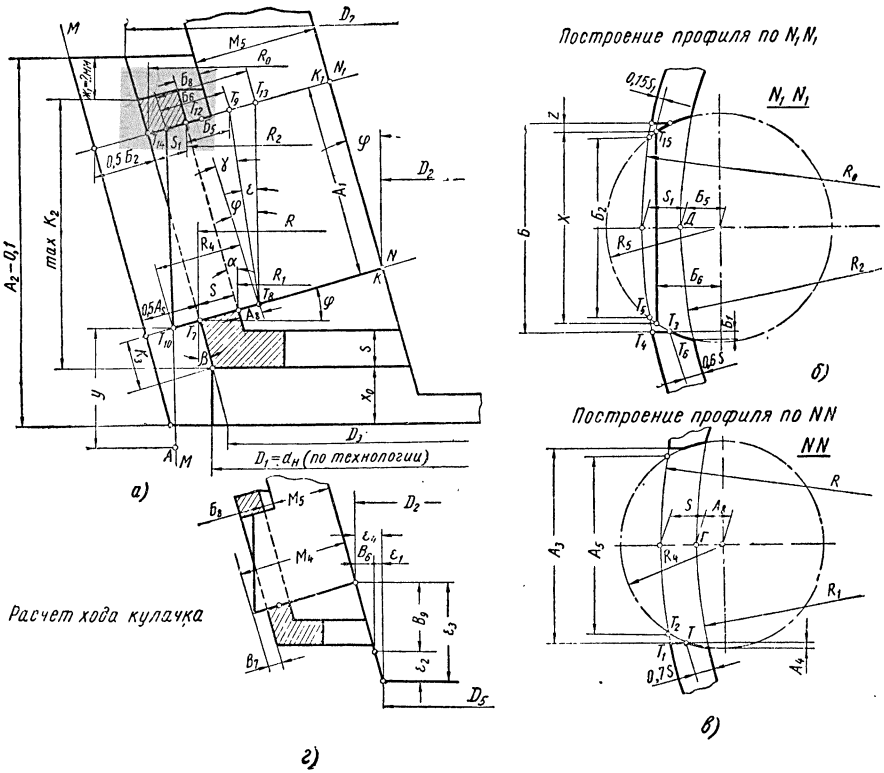
Ниже приводятся некоторые рекомендации по проектированию рабочих деталей штампов для одновременной калибровки окон конических сепараторов для случая, когда матрицы имеют выемки под кулачки.

Расчет профиля пуансона (кулачка) и матрицы выполняется графически в следующем порядке. В увеличенном масштабе вычерчивается половина сепаратора (фиг. 14). Значения D_1 и K_3 берут

максимальными из чертежа сепаратора по технологии. Для сепараторов с внутренним углом конуса от 10 до 17° принимается угол конуса оправки равный 15°. Для сепараторов с бо́льшим углом α, φ берется больше 15°.

Через точку T_7 проводится прямая NN под углом φ. От точки T_7 откладывается отрезок A_1, равный высоте головки кулачка, и проводится прямая N_1N_1 параллельно NN. Отрезок $A_1 = L_1 - (0{,}2 - 0{,}3)$ мм, где L_1 — минимальная длина окна сепаратора по чертежу.

Построение профиля головки пуансона (кулачка) по сечению NN (фиг. 14, *в*). Радиусом R, размер которого взят из фиг. 14, *а*, описывается дуга. На осевой линии откладывается толщина сепаратора s в сечении NN. Радиусом $R_1 = R - s$ из того же центра описывается вторая дуга. Перпендикулярно горизонтальной осевой линии откладывают ширину окна A_3, взятую по технологии. На осевой линии от точки Γ откладывают отрезок $0{,}7\,s$ и проводят дугу радиусом $R_1 + 0{,}7\,s$. Пересечение дуги радиуса $R_1 + 0{,}7\,s$ с линиями, параллельными горизонтальной оси, проведенными на расстоянии A_3, происходит в точке T. Через точку T радиусом R_4 проводят окружность. Радиус R_4 соответствует радиусу фаски окна сепаратора в сечении NN. Если при этом A_4 будет меньше $Б_1$ в сечении N_1N_1 (фиг. 14, *б*) или вообще малым, то необходимо R_4 увеличить так, чтобы A_4 был не менее размера $Б_1$. Далее уточненным радиусом R_4 описывается новая окружность и фиксируется положение центра. Отрезок A_5 определяет ширину выемки (хорды) матрицы в сечении NN. Расстояние от точки Γ до центра окружности радиуса R_4 определяется отрезком A_8.



Фиг. 14. Схема для расчета рабочих деталей штампа для одновременной калибровки окон конических сепараторов.

Построение профиля головки пуансона (кулачка) по сечению N_1N_1 (фиг. 14, *б*). Радиусом R_0, размер которого берется из фиг. 14, *а*, описывается дуга. На осевой линии откладывается толщина сепаратора s_1 в сечении N_1N_1. Радиусом $R_2 = R_0 - s_1$ из того же центра описывается другая дуга. Перпендикулярно горизонтальной осевой линии откладывают ширину окна $Б$ (размер берется по технологии). На осевой линии от точки $Д$ откладывают отрезок $0{,}6\,s_1$ и проводят дугу радиусом $R_2 + 0{,}6\,s_1$. Пересечение дуги радиуса $R_2 + 0{,}6\,s_1$ с линиями, параллельными горизонтальной оси, проведенными на расстоянии $Б$, происходит в точке T_3. Через точку T_3 радиусом R_5 проводится окружность. Радиус R_5 соответствует радиусу фаски окна сепаратора в сечении N_1N_1. Если $Б_1$ окажется малым, что определяется величиной зазора ролика, то R_5 надо увеличить и новым увеличенным радиусом окончательно описать окружность, точно определив положение центра увеличенного радиуса R_5. Отрезок $Б_2$ определяет ширину выемки (хорды) матрицы в сечении N_1N_1. Расстояние от точки $Д$ до центра окружности радиуса R_5 определяется отрезком $Б_5$. От дуги радиуса R_0 по горизонтальной оси откладывают отрезок $0{,}15\,s_1$ и приводят окружность радиусом $R_0 + 0{,}15\,s_1$. Из точки T_{15} проводят прямую среза кулачка X. Заплечик Z должен быть не менее 0,35 *мм*. Хорду среза кулачка X подсчитывают по формуле $\frac{X}{2} = \sqrt{R_5^2 - Б_6^2}$.

Размер $Б_1$ не должен быть больше A_4.

Определение угла наклона головки (кулачка) *пуансона* (фиг. 14, *а*). На прямой NN откладывают отрезок A_8, а на прямой N_1N_1 — отрезок $Б_5$. Точки T_8 и T_9 соединяют прямой. Прямая T_8T_9 является осью головки кулачков. Отрезок $Б_8$ берут равным 4 *мм*, а затем его величину уточняют. Отрезок M_5 берется по конструктивным соображениям примерно равным $2R_5$. Ширину кулачка определяют с учетом M_5 и $Б_8$. Через точку T_8 проводят прямую T_8T_{12}, параллельную прямой KK_1, затем проводится вертикаль T_8T_{13}. Углы ε и γ определяются из треугольников $T_8T_{12}T_{13}$ и $T_8T_{12}T_9$. Угол $\varepsilon = \varphi - \gamma$. Угол γ определяет наклон головки кулачка относительно плоскости, по которой перемещается кулачок. В редких случаях (при больших углах сепаратора) угол γ может располагаться по левую сторону от линии T_8T_{12}.

Определение высоты матрицы и ее цилиндрической части (фиг. 14, *а*). Из точки T_8 откладывают радиус R_4. Из точки T_9 откладывают радиус $Б_6$. Точка T_{10} соединяется прямой с точкой T_{14}. На прямой NN откладывают отрезок $0{,}5\,A_5$, а на прямой N_1N_1 откладывают отрезок $0{,}5\,Б_2$. Через полученные точки проводят прямую MM. Прямые MM и $T_{14}T_{10}$ пересекаются в точке A. Отрезок $Y = T_{10}A$ характеризует момент упора кулачков в матрицу после многократных перешлифовок ее. Размер X_0 (предусмотрен для перешлифовок) берется в зависимости от Y. Для мелких сепараторов с $\beta \leqslant 12°$, при $Y > 5$ *мм*, X_0 принимается равным $5 \div 8$ *мм*. Для средних типов с $\beta < 12°$, при $Y > 8$ *мм*, X следует брать от 8 до 10 *мм*.

$$A_2 = X_0 + K_{2\max} + ж_1.$$

D_7 определяют, зная A_2, D_3 и β.

$$D_7 = D_3 + 2A_2 \operatorname{tg}\beta.$$

Определение величины хода кулачка (фиг. 14, *г*). Горизонтальный ход кулачка равен $B_8 + \varepsilon_1$. При $B_7 \leqslant s$ B_6 принимается равным 1,5 $s \cdot \varepsilon_1$ принимается равным $0{,}5 \div 1{,}5$ *мм*.

$$B_9 = \frac{B_6}{\operatorname{tg}\varphi}; \quad \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1}{\operatorname{tg}\varphi}; \quad \varepsilon_3 = B_9 + \varepsilon_2;$$

$$D_5 = D_2 - 2\varepsilon_4.$$

Определение размеров среза головки (кулачка) *пуансона* (фиг. 15) производят исходя из геометрических соотношений. Расчеты аналогичны при положительном и отрицательном угле γ.

$$B_1 = \frac{R_4}{\cos\gamma}; \quad B_2 = \frac{Б_6}{\cos\gamma}; \quad B_3 = A_1 \operatorname{tg}\gamma;$$

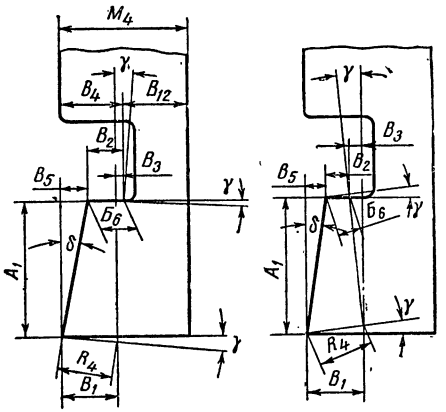
$$B_4 = B_1 + B_3;$$

$$B_5 = B_4 - B_2; \quad \operatorname{tg}\delta = \frac{B_5}{A_1};$$

$$B_{12} = M_4 - B_4.$$

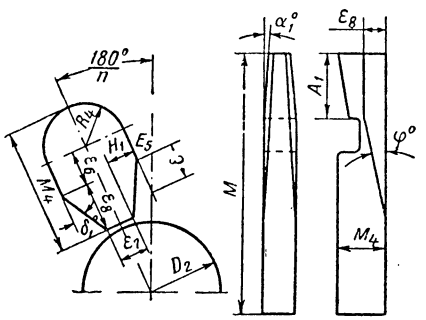
Определение верхних срезов (кулачка) *пуансона* (фиг. 16). Под углом $\frac{180°}{n}$, где n — число окон сепаратора, откладывают отрезок M_4. Далее откладывают значения R_4 и ε_4 (фиг. 14, *г*). Из точки E_5 проводят прямую, параллельную

оси кулачка. Отрезок ε_6 должен быть больше 1 *мм*. Если ε_6 окажется меньше, то его следует увеличить за счет



Фиг. 15. Схема для расчета размеров среза головки кулачка штампа для одновременной калибровки окон конических сепараторов.

уменьшения ε_4. Желательно получить $\varepsilon_6 = 1{,}5 \div 3$ *мм*, а ε_4 больше расчет-



Фиг. 16. Схема для расчета размеров верхних срезов кулачков штампа для одновременной калибровки окон конических сепараторов.

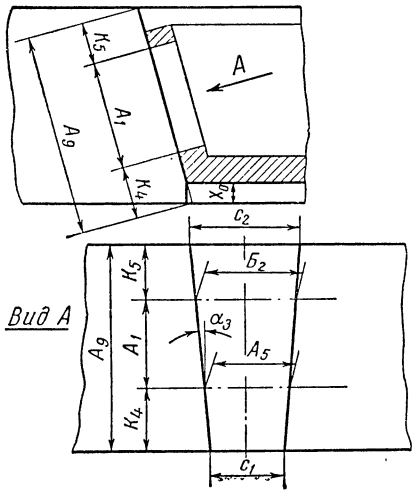
ного (фиг. 14, *г*) на 2 *мм* или больше (при $\varepsilon_7 > 3$ *мм*).

$$\varepsilon_8 = M_4 - (R_4 + \varepsilon_6); \quad \delta_1 = \frac{180^\circ}{n};$$

$$H_1 = \varepsilon_8 \operatorname{tg} \delta_1;$$

$$\varepsilon_7 = 2R_4 - 2H_1; \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{R_5 - R_4}{A_1}.$$

Определение хорд выемок матрицы (фиг. 17).



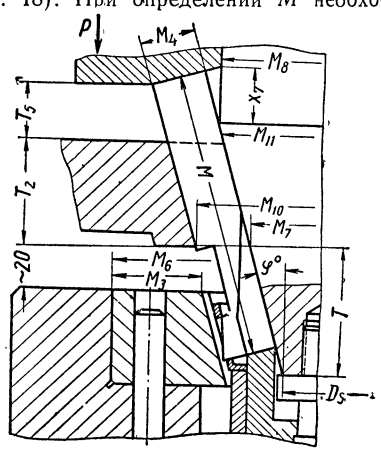
Фиг. 17. Схема для расчета размеров выемок матриц штампа для одновременной калибровки окон конических сепараторов.

Значения K_4, A_1, K_5, $Б_2$, A_5, D_7, D_3 и β принимаются по фиг. 14, *а*, *б* и *в*.

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{Б_2 - A_5}{2A_1}; \quad c_1 = A_5 - 2K_4 \operatorname{tg} \alpha_3;$$

$$A_9 = \frac{D_7 - D_3}{2 \sin \beta}; \quad c_2 = c_1 + 2A_9 \operatorname{tg} \alpha_3.$$

Общая компоновка рабочих деталей штампа для одновременной калибровки (фиг. 18). При определении M необхо-



Фиг. 18. Схема компоновки рабочих деталей штампа для одновременной калибровки окон конических сепараторов.

димо, чтобы T_5 было больше e_3 (вертикальный ход кулачков) на 3—5 *мм*. При определении M_8 необходимо также, чтобы X_7 было больше e_3.

$$M_7 = D_5 + 2T \operatorname{tg} \varphi.$$

Размер M_{10} определяют, зная M_7, M_4, φ. К теоретическому размеру M_{10} прибавляют 0,5—0,7 *мм* для обеспечения необходимого зазора

$$M_{10} = M_7 + \frac{2M_1}{\cos \varphi}; \quad M_{11} = M_7 + 2T_2 \operatorname{tg} \varphi.$$

Размеры M_3 и M_6 принимают по конструктивным соображениям.

При вытяжке конических сепараторов из листового металла или при штамповке из трубосварных заготовок имеет место неравномерное изменение толщины полуфабриката по высоте, что необходимо учитывать при проектировании рабочих деталей штампов. Максимальная толщина края сепаратора при штамповке из листового металла с достаточной степенью точности определяется по формуле

$$s_{\max} = s_0 \sqrt{\frac{D_з}{D_c + s_0}},$$

где $D_з$ — диаметр плоской заготовки; s_0 — толщина исходного металла.

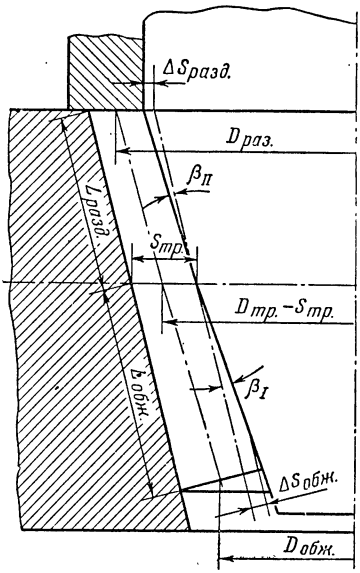
Диаметр $D_з$ подсчитывается по известным формулам [1], [2].

При штамповке конических сепараторов из трубосварных заготовок следует учитывать, что процесс формовки конуса представляет собой сочетание двух простейших операций листовой штамповки: раздачи и обжима. В заготовке-полуфабрикате эти зоны разграничиваются по нейтральному сечению, определяемому диаметром цилиндрической трубосварной заготовки. Для обеспечения прямолинейности образующей конуса наружной поверхности (фиг. 19) угол пуансона в зоне раздачи необходимо увеличить по сравнению с внутренним углом сепаратора на величину β_{II}, где

$$\operatorname{tg} \beta_{II} = \frac{\Delta s_{раз}}{L_{раз}} =$$

$$= \frac{s_{тр}\left(1 - \sqrt{\frac{D_{тр} - s_{тр}}{D_{раз}}}\right) 2 \sin \alpha}{D_{раз} - (D_{тр} - s_{тр})}.$$

В зоне обжима угол пуансона следует увеличить по сравнению с внутренним



Фиг. 19. Характер изменения толщины стенки конического сепаратора при штамповке его из цилиндрической заготовки.

углом конуса сепаратора на величину β_I, где

$$\operatorname{tg} \beta_I = \frac{\Delta s_{обж}}{L_{обж}} =$$

$$= \frac{s_{тр}\left(\sqrt{\frac{D_{тр} - s_{тр}}{D_{обж}}} - 1\right) 2 \cdot \sin \alpha}{0{,}8[(D_{тр} - s_{тр}) - D_{обж}]}.$$

При выборе $D_{тр}$ принимается, что

$$D_{раз} = (1{,}02 \div 1{,}06)\, D_{тр}.$$

Пути экономии металла при производстве штампованных сепараторов подшипников качения

Форма, размеры и принятая технология изготовления штампованных сепараторов из ленты и листа не обеспечивают высокого коэффициента использования металла, так как имеют место значительные боковые и центральные отходы. Для

повышения коэффициента использования металла необходимо применять многорядную вырубку заготовок из ленты или полосы и загрузочные устройства к многопозиционным прессам или прессам общего назначения.

Следует также широко использовать центральный отход для штамповки заготовок полусепараторов.

Помимо многорядной вырубки заготовок сепараторов и использования центрального отхода, коэффициент использования металла при производстве конических сепараторов может быть значительно повышен применением в качестве исходной заготовки тонкостенных отожженных электросварных труб по ГОСТ 1753-53. Технологический процесс и штампы для изготовления конических сепараторов из электросварных труб представлены в табл. 3 и на фиг. 9. Штамповка сепараторов конических роликоподшипников из электросварных труб позволяет повысить коэффициент использования металла в 2 раза и снизить себестоимость изготовления на 15—25% [5], [6].

Сепараторы конических роликоподшипников целесообразно изготовлять из электросварных труб наружным диаметром от 76 до 152 *мм*, с толщиной стенки от 2,0 до 5,0 *мм*. Заготовки конических сепараторов большего диаметра и большей толщины стенки целесообразно получать штампосварные, используя контактную электросварку методом оплавления.

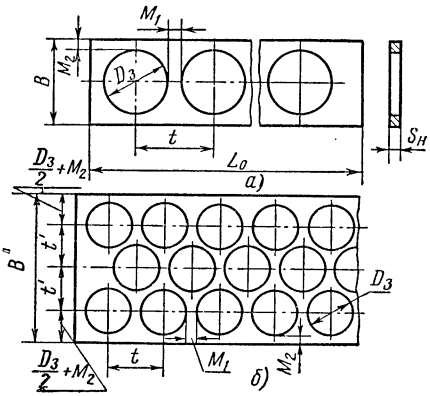
С целью снижения трудоемкости следует все операции по изготовлению штампованных массивных и крупносерийных сепараторов выполнять на многопозиционных прессах.

Нормирование расхода металла при изготовлении штампованных сепараторов из листового металла

В зависимости от характера исходного металла и метода его раскроя норма расхода металла для изготовления сепараторов будет иметь различную величину. При однорядном раскрое (фиг. 20, *а*) подетальная норма определяется по формуле

$$Q_{н.\,р} = Q_з + q_{н.\,к} + q_4 \ кГ,$$

где $Q_{нр}$ — норма расхода металла на одну деталь в *кГ*; $Q_з$ — вес заготовки в *кГ*; $q_{нк}$ — расход металла на некратность в *кГ*; q_4 — расход металла на испытания исходного металла, полуфабрикатов и готовых деталей, а также расход металла на наладку технологического оборудования в *кГ*.



Фиг. 20. Раскрой листового металла при вырубке заготовок сепараторов: *а* — однорядный раскрой; *б* — многорядный раскрой.

Вес заготовки $Q_з$ определяется по формуле

$$Q_з = tBs_p\gamma \ кГ,$$

где t — продольный шаг при вырубке в *мм*; B — ширина полосы или ленты в *мм*; s_p — расчетная толщина исходного металла в *мм*; γ — удельный вес исходного металла в $кГ/мм^3$.

Расчетная толщина исходного металла s_p определяется по формуле

$$s_p = s_o + \frac{\Delta_s}{2} \ мм,$$

где s_o — толщина исходного металла (по ГОСТ) в *мм*; Δ_s — допуск на толщину исходного металла (по ГОСТ) с присущим ему знаком в *мм*.

Значения B и t определяют по формулам:

$$B = D_з + 2M_2 + \Delta_ш \ мм;$$

$$t = D_з + M_1 \ мм;$$

$$M_2 = 1{,}5\,M_1 \ мм,$$

где $\Delta_ш$ — допуск на ширину полосы или ленты в *мм*.

Значения величины шаговой перемычки (M_1) в зависимости от толщины исходного металла принимают по общепринятым таблицам [2], [3].

Расход металла на некратность ($q_{н.к}$) при вырубке заготовок определяется в зависимости от раскроя исходного металла.

При вырубке заготовок непосредственно из бунта отходы по некратности бунта учитываются процентом от веса заготовок

$$q_{н.к} = \frac{A}{100} Q_з \ кГ,$$

где значение A берется по табл. 7.

$$q'_D = \frac{L''_0 + \frac{\Delta''_L}{2} - (N_з t + M_1)}{N_з t} Q_з \ кГ;$$

$$q'_ш = \left(\frac{W_л + \frac{\Delta_W}{2}}{z_л B} - 1 \right) (Q_з + q'_D) \ кГ;$$

Δ'_N — допуск на длину листа в *мм*.
ΔW — допуск на ширину листа в *мм*

7. Значения A в зависимости от ширины и толщины ленты

Ширина ленты		Толщина ленты s_0 в *мм*								
От	До	До 1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6
	80	Не учитывается				0,10	0,10	0,10	0,15	0,15
83	100	0,10	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,25
105	130	0,15	0,18	0,20	0,23	0,28	0,34	0,40	0,45	0,50
135	150	0,20	0,23	0,27	0,30	0,38	0,45	0,53	0,61	0,70
155	200	0,31	0,37	0,43	0,50	0,62	0,75	0,87	1,00	1,10
205	230	0,48	0,57	0,67	0,76	0,95	1,15	1,35	1,50	1,70

При вырубке заготовок из полос нарезанных из бунта

$$q_{н.к} = q' + \frac{A}{100} Q_з \ кГ,$$

где $q' = \frac{\Delta L}{2L'_0} Q_з$ — отходы по немерности отрезаемых от бунта полос; ΔL — допуск по длине полосы, отрезаемой из бунта, равный 7 *мм**; L'_0 — длина полосы, кратная шагу (t) вырубаемой заготовки в *мм*, но не менее 2 *м*, т. е.

$$L'_0 = N_з t + M_1 + 7{,}0 \ мм;$$

$N_з$ — число заготовок.

При вырубке из листа или полос, раскроенных из листа

$$q'_{н.к} = q'_д + q'_ш \ кГ,$$

где $q'_д$ — вес отходов по некратности длины листа в *кГ*; $q'_ш$ — вес отходов по некратности ширины листа в *кГ*.

L''_0 — длина листа в *мм*; $W_л$ — ширина листа в *мм*; $z_л$ — число полос, получаемых при разрезке листа.

Значения Δ'_L, Δ_W, L''_0, $W_л$ берутся по соответствующим ГОСТ.

Расход металла, идущего на испытание и наладку (q_4), определяют по формуле

$$q_4 = (Q_з + q'_{н.к}) K_з \ кГ,$$

где $K_з$ — коэффициент, равный 0,009.

Многорядный раскрой. Подетальная норма расхода металла в случае многорядного раскроя заготовок в шахматном порядке (фиг. 20, *б*) определяется аналогично расчету подетальной нормы расхода в случае однорядной вырубки со следующей корректировкой:

$$Q_з = \frac{B''}{n} t s_p \gamma \ кГ,$$

где n — число рядов по ширине полосы; $t = D_з + M_1$ — продольный шаг в *мм*; $B'' = (n-1)\, t' + D_з + 2M_2$ — ширина полосы в *мм*.

Здесь $t' = (D_з + M_1)\ 0{,}866$ — поперечный шаг в *мм*, $M_2 = 1{,}5\ M_1$ — боковая перемычка.

Для определения веса отходов, связанных с технологией листовой штамповки и конфигурацией заданной

* Допуск на резку полос (Δ_L) зависит от условий выполнения данной операции и принимается равным 7 *мм* при резке бунта из полосы длиной около 2 *м* на специализированном прессе-автомате (рихтовально-отрезном прессе), снабженном роликовой подачей и автоматическим упором, сблокированным с муфтой включения пресса.

чертежом детали, следует пользоваться формулой

$$Q_{отх} = Q_{н.\,р} - c_1 \text{ кГ},$$

где $Q_{отх}$ — вес всех отходов в кГ; $Q_{н.р}$ — норма расхода металла на деталь в кГ; c_1 — чистый вес детали в кГ.

На основании установленной расчетной нормы расхода металла определяется коэффициент использования металла:

$$K_и = \frac{c_1}{Q_{н.\,р}}.$$

Расчет норм расхода металла при изготовлении сепараторов из электросварных труб ведется по формулам, приведенным в табл. 34, гл. XVI. При расчете принимается, что электросварные трубы разрезаются на заготовки методом безотходной резки без подрезки торца.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАССИВНЫХ СЕПАРАТОРОВ И ИХ ЗАГОТОВОК

В качестве заготовок для массивных сепараторов подшипников качения применяются прутки, трубы, поковки, литье.

Массивные сепараторы подшипников качения изготовляются из латуни ЛС-59-1 (ГОСТ 1019-47), графитизированных сталей ЭИ-336, ЭИ-833 (ТУ-602 и ТУ 6272-56 завода Электросталь), стали 30 (ГОСТ 1050-52), магниевого высокопрочного чугуна (ГОСТ 7293-54), алюминиево-железистомарганцовистой бронзы Бр. АЖМц (ГОСТ 493-41 и ГОСТ 1208-54), дуралюмина Д-1 (ГОСТ 4784-49), текстолита листового (ГОСТ 5-52), текстолитовых трубок и стержней. В последние годы для изготовления массивных сепараторов применяют также полиамадные смолы.

Производство литых труб для массивных сепараторов

Трубы для массивных сепараторов чаще всего изготовляют методом центробежного литья, штучные заготовки — методом точного литья из различных сплавов или пластмасс.

Для получения латунных труб применяют центробежные машины с горизонтальной осью вращения конструкции ЦНИИТМАШ производительностью 10—15 отливок в час, индукционные печи с железным сердечником типа «Аякс» (емкостью 600 кГ), высокочастотные индукционные печи с машинным преобразователем (емкостью 100—1000 кГ).

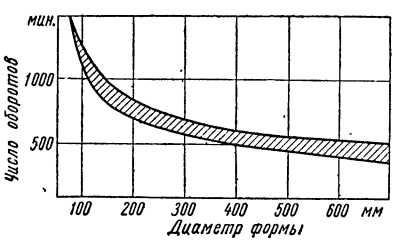
При отливке труб из латуни ЛС-59-1 применяют состав шихты: стружка латунная ЛС-59-1 68,5 %; латунь чушковая ЛС-59-1 23,5%; возврат 6,5%; цинк 1,5%. Выход годного составляет в среднем 89% (сплески 4,5%, брак 2,0%, угар и безвозвратные потери 4,5%).

Для получения качественных литых заготовок применяют следующие режимы литья (табл. 8).

8. Режимы при отливке труб ЛС-59-1 центробежным методом

Температура металла при разливке	1000—1050°
Температура изложницы перед заливкой металлом	150—200°
Время заливки металла в изложницу	12—20 сек.
Время вращения изложницы с залитым металлом	80—120 сек.

Смазка внутренней поверхности изложницы производится через 3—4 отливки (смесь мазута 70% и графита 30%). Охлаждение изложницы водой производится после выемки отливки.



Фиг. 21. Зависимость числа оборотов от внутреннего диаметра формы при центробежной отливке труб из латуни.

Зависимость числа оборотов от внутреннего диаметра формы при центробежной отливке труб из латуни приводится на графике (фиг. 21).

Химический состав магниевого чугуна, применяемого для изготовления сепараторов, приводится в табл. 1, а механические свойства труб, отлитых центробежным методом из магниевого чугуна — в табл. 9.

Для выплавки, разливки и изготовления трубных заготовок из магниевого чугуна применяют вагранки производительностью 3 *т* в час или высокочастотные индукционные печи с машинным преобразователем (емкостью тигля 100—

9. Механические свойства труб, отлитых из магниевого чугуна

Показатели	С перлитной структурой (содержание феррита до 20%)	С ферритной структурой (содержание перлита до 15 %)
Пределы прочности в *кГ/мм²* при:		
растяжении	45—60	40—55
сжатии	170—220	170—220
изгибе	50—60	50—60
Удлинение при растяжении в % . . .	до 6,0	12—20
Ударная вязкость в *кГм/см²*	до 3,5	4—8

1000 *кГ*) или дуговые электропечи (емкостью 3 *т*), различные ковши (ручные или крановые, открытые емкостью 50—1000 *кГ*), центробежные машины с горизонтальной осью вращения производительностью 20 отливок в час [7], [8].

Для выплавки модифицированного чугуна рекомендуется лигатура следующего состава: магний 5—7%; кремний 45—50%; кальций 8—12%; железо — остальное. Удельный вес лигатуры 3,8—3,5 *кГ/дм³*, температура плавления 1000—1070°, усвоение магния чугуном 40—60%. Модифицирование жидкого чугуна производится в ковше. На дно ковша, нагретого до температуры 500—600°, забрасывается битое стекло, а затем просушенная при температуре 100—200° магниевая лигатура (в кусках размером 10—30 *мм*), которая прикрывается битым стеклом. После этого ковш подается под заливку металлом. Температура жидкого металла, выпускаемого из печи в ковш, должна быть 1400—1420°. В связи с некоторым волнением металла при растворении лигатуры ковш заполняется не более чем на 75% его емкости.

Длительность выдержки металла для растворения лигатуры приводится в табл. 10.

10. Длительность выдержки металла для растворения лигатуры

Емкость ковша в *кГ*	50—100	100—300	300—700	700—1000
Время выдержки в мин.	3	5	8	10

После выдержки и растворения магниевой лигатуры с поверхности металла удаляется шлак и вводится 75%-ный ферросилиций (предварительно раздробленный на куски размером 3—5 *мм*) в количестве 0,2—0,3% от веса металла. Через 2—4 мин. шлак удаляется и ковш подается под разливку. Разливка чугуна в изложницы центробежных машин производится при температуре 1280—1300°.

Рекомендуемые числа оборотов изложницы даны в табл. 11.

11. Число оборотов изложницы при отливке труб из магниевого чугуна

Размеры отливки		Число оборотов изложницы в минуту	Окружная скорость по внутреннему диаметру изложницы в *м/сек*
Наружный диаметр в *мм*	Толщина стенки в *мм*		
120	30	1200	7,5
150	30	1200	9,5
180	45	1050	9,9
200	55	1050	11,0

Дальнейшее повышение числа оборотов изложницы может вызвать образование трещин в отливках.

Отлитые трубные заготовки перед механической обработкой подвергаются отжигу в газовых или электрических печах по следующему режиму: нагрев до 930°, выдержка 3—4 часа, охлаждение в печи до 300°, далее — на воздухе. Твердость после отжига должна быть *НВ* 160—190. Структура: шаровидный графит, феррит и перлит.

Механическая обработка массивных сепараторов

Типовые конструкции и габаритные размеры массивных сепараторов приведены в табл. 12. В зависимости от их размеров сепараторы изготовляют из прутков, труб или штучных заготовок.

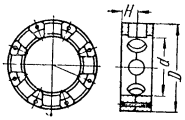
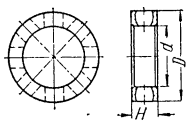
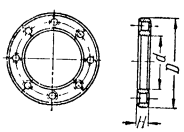
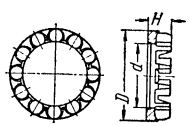
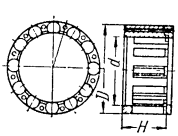
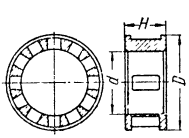
Технологический маршрут механической обработки сепараторов состоит из двух основных этапов:

а) обработка кольцевой заготовки,

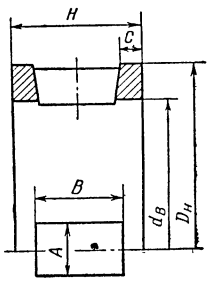
б) обработка гнезд под тела качения.

Для разъемных конструкций дополнительно применяют промежуточную операцию комплектовки (спаривания) полусепараторов или сепаратора с крышкой, а также сверление отверстий под заклепки. Пример типового технологического маршрута обработки разъемных малогабаритных сепараторов шариковых радиально-упорных подшипников приведен в табл. 13.

12. Типовые конструкции массивных сепараторов

Наименование	Эскиз	Габариты в *мм*		
		D	*d*	*H*
Сепараторы радиальных шариковых одно- и двухрядных подшипников		22—340	16—267	5—50
Сепараторы радиально-упорных подшипников		28—158	22—123	8,0—4,0
Сепараторы упорных шариковых подшипников		24—470	11—390	2,6—3,0
Сепараторы радиальных роликосферических подшипников		91—426	73—367	12—47
Сборные сепараторы подшипников с цилиндрическими роликами		36,7—331,4	30—290	8,7—61
Беззаклепочные сепараторы подшипников с цилиндрическими роликами		27—312	23—287	9—100

Типовой технологический маршрут обработки сепараторов двухрядных радиально-сферических роликоподшипников из латунных труб приведен в табл. 14.



Фиг. 22. Размеры основных параметров литой с окнами заготовки беззаклепочного массивного сепаратора подшипника с цилиндрическими роликами.

Типовой технологический маршрут обработки массивных беззаклепочных сепараторов цилиндрических роликоподшипников из литых с окнами заготовок приведен в табл. 15.

На фиг. 22 показаны основные параметры литой с окнами заготовки сепаратора.

В табл. 16 приведены припуски на механическую обработку и допуски на размеры литой с окнами заготовки диаметром от 150—300 *мм*.

Токарная обработка заготовок сепараторов производится в зависимости от вида заготовки и серийности выпуска на токарных автоматах, револьверных станках, токарных полуавтоматах или универсальных токарных станках.

Гнезда под тела качения в сепараторах (цилиндрические, глухие с развалом, а также со сферическим дном) обрабатывают зенкерованием — независимо от размера и материала сепаратора. Гнезда больших диаметров (свыше 20 *мм*) обрабатывают за два прохода. Прямоугольные и квадратные гнезда беззаклепочных сепараторов подшипников с цилиндрическими роликами предварительно сверлят, а затем прошивают или протягивают (при четном числе гнезд) за один или несколько проходов, за исключением беззаклепочных сепараторов, из литых штучных заготовок, окна которых обрабатывают прошивками за две операции.

Режущий инструмент. Для обработки заготовок сепараторов применяют стандартные плоские проходные, расточные и отрезные резцы. Для обработки гнезд применяют нормальные сверла.

Типовые конструкции специального режущего инструмента для обработки массивных сепараторов приведены на фиг. 23—25.

Геометрия режущей части инструментов и марка инструментального материала в зависимости от материала сепаратора приведены в табл. 17.

Приспособления. Для обработки гнезд и отверстий под заклепки применяют различные конструкции специальных кондукторов в зависимости от типоразмеров сепараторов: накладного типа (фиг. 26) и поворотные кондукторы с делительным устройством (фиг. 27).

Оборудование. Для производства массивных сепараторов применяют главным образом универсальные станки: токарные, револьверные, сверлильные и протяжные.

Для сверления и расточки гнезд сепараторов применяют специальные полуавтоматы с делительным устройством, смонтированном на шпинделе станка, например, сверлильно-расточные автоматы 1ГПЗ типов ГС-25 и ГС-300.

Протягивание мелких сепараторов с четным числом гнезд производят на вертикально-протяжных станках с силой тяги от 5 до 10 *т*, а также на одно- и многоместных горизонтально-протяжных пневматических станках. Сила тяг этих станков 3 *т*. Рабочая скорость протяжных станков от 5 до 10 *м/мин*. Скорость холостого хода от 6,5 до 21 *м/мин*.

Прошивание гнезд крупных сепараторов производят на гидравлических прессах.

Сила резания. Сила резания при протягивании и прошивании рассчитывается по приближенной формуле [9].

$$p_z = K s_z^{\frac{3}{4}} p \ \kappa Г.$$

Здесь K — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала; s_z — средняя толщина срезаемого слоя одним зубом в *мм*; p — суммарный периметр резания в *мм*.

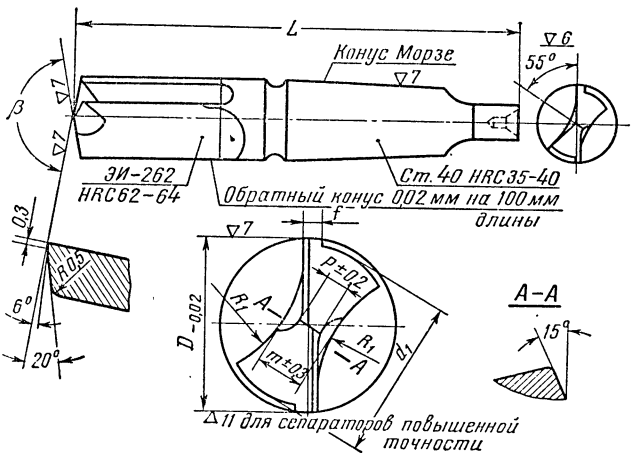
Для круглой протяжки $p = \pi\, dz$.

Для прямоугольной протяжки $p = 2(a + b)z$. Здесь z — число зубьев протяжки, одновременно участвующих в резании; d — диаметр протяжки в *мм*; a и b — стороны протяжки в *мм*.

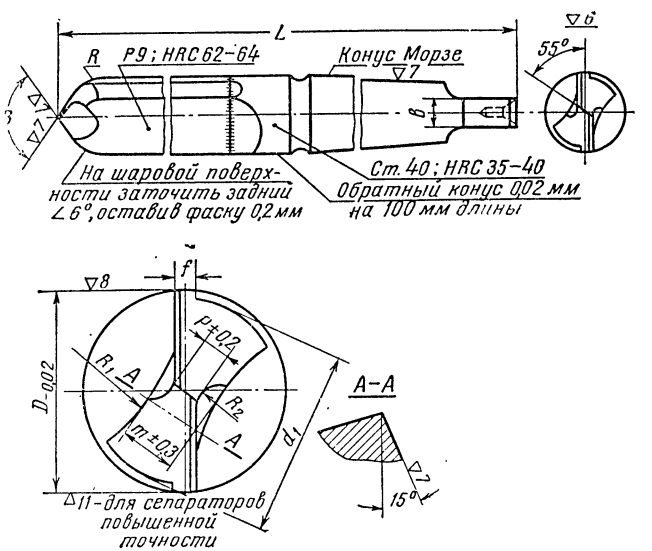
Значения коэффициентов K для различных обрабатываемых материалов приведены в табл. 18.

Применение охлаждения уменьшает силу протягивания на 10% при протягивании стали и чугуна.

Режимы резания. Режимы резания для основных технологических операций обработки массивных сепараторов из различных материалов для универсальных станков приведены в табл. 19.

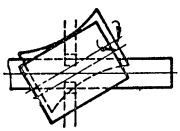
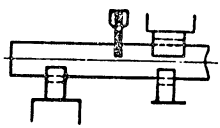
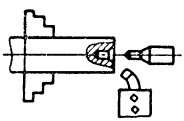
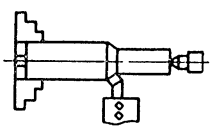
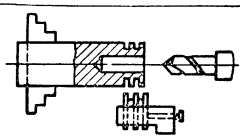
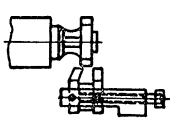
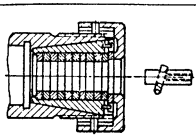
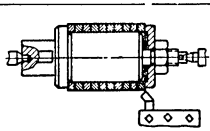
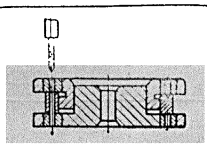


Фиг. 23. Зенкер для обработки гнезд сепараторов.

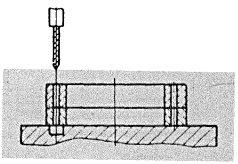
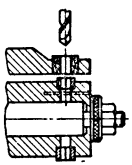
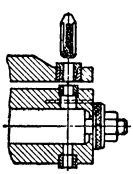
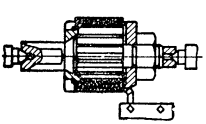
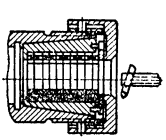
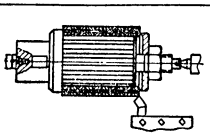


Фиг. 24. Зенкер для обработки гнезд сепараторов со сферическим дном.

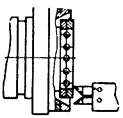
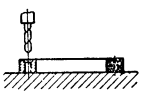
13. Типовой технологический маршрут обработки разъемных малогабаритных сепараторов шариковых радиально-упорных подшипников

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
1	Правка прутка		Правильный станок	Нажимные ролики
2	Разрезка прутка		Пила	Дисковая пила
3	1. Подрезка торцов 2. Центровка с двух сторон		Токарно-револьверный станок	Подрезной резец. Центровочное сверло
4	Обточка вала по всей длине (с перевертыванием)		Токарно-револьверный станок	Проходной резец
5	Сверление отверстий. Отрезка колец полусепараторов		Токарно-револьверный станок	Спиральное сверло. Отрезные резцы
6	Подрезка торцов одновременно с двух сторон		Токарный станок	Подрезные резцы
7	Черновая расточка внутреннего диаметра и снятие заусенцев у первого полусепаратора вручную		Токарно-револьверный станок	Расточный резец. Шабер
8	Черновая обточка наружного диаметра		Токарный станок	Проходной резец
9	Сверление отверстий в первом полусепараторе под заклепки		Настольно-сверлильный станок	Сверло

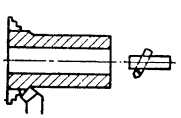
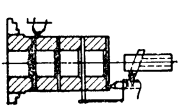
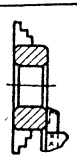
Продолжение табл. 13

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
10	Снятие заусенцев на торцах полусепаратора	—	Дискополированный станок	Наждачное полотно
11	Развертывание отверстий под заклепки в комплекте		Настольно-сверлильный станок	Развертка
12	Вставка шпилек в отверстия под заклепки	—	Стол	—
13	Сверление отверстий под шарики в комплекте		Настольно-сверлильный станок	Сверло
14	Развертывание отверстий под шарики на овал в комплекте		Настольно-сверлильный станок	Зенкер
15	Чистовая обточка наружной поверхности и снятие заусенцев на торце с одной стороны первого полусепаратора		Токарный станок	Проходной резец. Наждачное полотно зернистостью 80—100
16	Чистовое растачивание внутренней поверхности (по внутреннему диаметру сделать риску)		Токарно-револьверный станок	Расточной резец
17	Окончательная обточка наружной поверхности и зачистка наждачным полотном		Токарный станок	Проходной резец. Наждачное полотно зернистостью 80—100

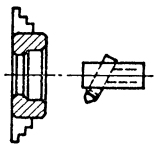
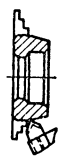
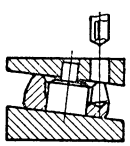
Продолжение табл. 13

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
18	Снятие наружных и внутренних фасок с двух сторон в комплекте		Токарный станок	Фасочные резцы
19	Снятие заусенцев, разъем полусепараторов, удаление шпилек	—	Стол	Наждачное полотно зернистостью 100
20	Зенкование отверстий с одной стороны полусепаратора под головку заклепок		Настольно-сверлильный станок	Спиральное сверло
21	Снятие заусенцев в отверстиях под заклепки	—	Настольно-сверлильный станок	Развертка
22	Травление полусепаратора	—	Ванна	—
23	Связывание сепараторов комплектно	—	Стол	—
24	Завертывание сепараторов в парафинированную бумагу	—	Стол	—

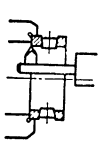
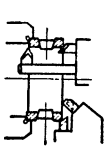
14. Типовой технологический маршрут обработки сепараторов двухрядных радиально-сферических роликоподшипников

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
1	Предварительная обточка, расточка, подрезка		Токарно-револьверный станок	Проходной, расточной и подрезной резцы
2	Подрезка торца, обточка наружного диаметра, расточка внутреннего диаметра, снятие фасок. отрезка		Токарно-револьверный станок	Проходной, расточной и подрезной резцы
3	Подрезка торца, снятие фасок		Токарно-револьверный станок	Подрезной резец. Шабер

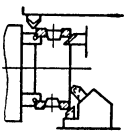
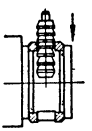
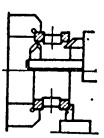
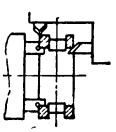
Продолжение табл. 14

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
4	Выточка уступа		Токарный станок	Расточной резец
5	Обточка наружного конуса		Токарный станок	Проходной резец
6	Сверление гнезд		Вертикально-сверлильный станок	Сверло
7	Зачистка заусенцев	—	Верстак	Напильник
8	Травление	—	Ванна	—

15. Типовой технологический маршрут обработки массивных беззаклепочных сепараторов цилиндрических роликоподшипников из литых с гнездами под ролики заготовок

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
1	Обдирка отверстия в литейном цехе		Токарно-револьверный станок	Расточной резец
2	Подрезка торца, расточка отверстия, обточка фасок		Многорезцовый станок	Подрезной, расточной и фасочный резцы

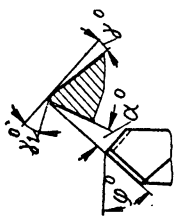
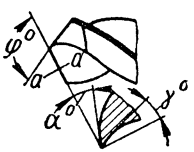
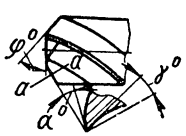
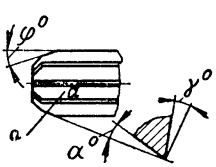
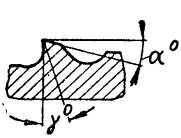
Продолжение табл. 15

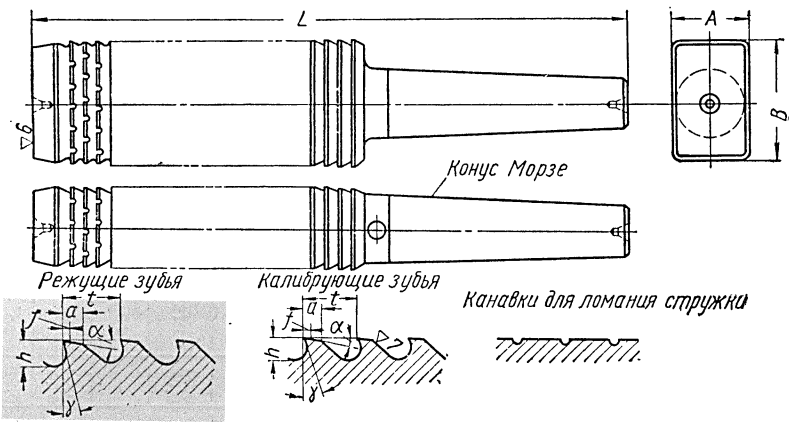
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование	Инструмент
3	Клеймение базового торца	—	Верстак	
4	Подрезка второго торца, обточка наружной цилиндрической поверхности, обточка фасок		Многорезцовый станок	Подрезной, проходной и фасочный резцы
5	Прошивка гнезда под ролики предварительно и окончательно		Гидравлический пресс	Прошивка
6	Окончательная расточка отверстия, обточка фасок		Многорезцовый станок	Расточной и фасочный резцы
7	Окончательная обточка наружной поверхности, обточка фасок		Многорезцовый станок	Проходной и фасочный резцы
8	Зачистка заусенцев	—	Верстак	Напильник

16. Припуски на механическую обработку и допуски на размеры литой с окнами заготовки

Припуски и допуски	Геометрические параметры					
	$D_н$	$d_{вн}$	H	c	A	B
Припуск	5,0—7,0	14,0—22,0	5,0—7,0	4,0—5,0	2,0—3,0	1,5—3,0
Допуск	+ 1,0	— 8,0	+ 1,0	+ 0,5	— 0,5	— 0,8

17. Геометрические параметры режущей части инструментов, применяемых для обработки массивных сепараторов

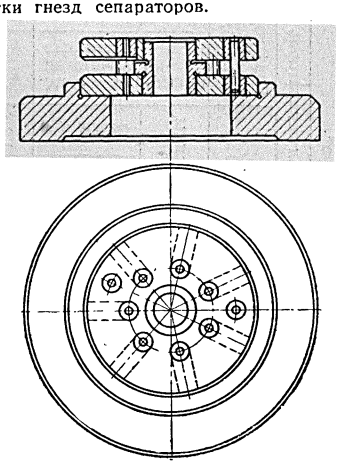
Наименование инструмента	Геометрические параметры режущей части	Обрабатываемый материал	Твердые сплавы				Быстрорежущая сталь			
			$\alpha°$	$\gamma°$	$\gamma°_1$	$\varphi°$	$\alpha°$	$\gamma°$	$\gamma°_1$	$\varphi°$
Резцы (проходные, расточные, подрезные, отрезные)		Сталь $\delta_в = 60 \div 70$ кГ/мм²	8	10	−5	60	8	25	—	60
		Чугун	8	8	−5	60	8	25	—	60
		Латунь	8	12	0	60	8	30	—	60
		Алюминий	8	12	0	60	8	30	—	60
Сверла		Сталь $\delta_в = 60 \div 70$ кГ/мм²	—	—	—	—	15	25	—	116
		Чугун	—	—	—	—	15	25	—	116
		Латунь	—	—	—	—	15	25	—	130
		Алюминий	—	—	—	—	15	25	—	140
Зенкера		Сталь $\delta_в = 60 \div 70$ кГ/мм²	10	10	0	75	10	10	—	60
		Чугун	10	8	0	75	10	8	—	45
		Латунь	10	10	—	75	10	25	—	60
		Алюминий	10	10	—	75	10	25	—	60
Развертки		Сталь $\delta_в = 60 \div 70$ кГ/мм²	—	—	—	—	6	0	—	60
		Чугун	—	—	—	—	6	0	—	60
		Латунь	—	—	—	—	6	0	—	60
		Алюминий	—	—	—	—	6	0	—	60
Протяжки, прошивки (режущие зубья)		Сталь $\delta_в = 60 \div 70$ кГ/мм²	—	—	—	—	2—4	15	—	—
		Чугун	—	—	—	—	2—4	10	—	—
		Латунь	—	—	—	—	2—4	20	—	—
		Алюминий	—	—	—	—	2—4	20	—	—



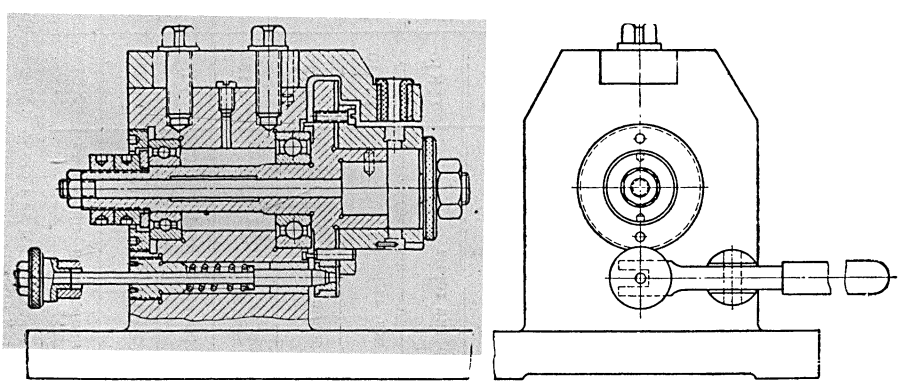
Фиг. 25. Прошивка для чистовой обработки гнезд сепараторов.

18. Значения коэффициента K для определения силы резания при протягивании

Обрабатываемый материал	K
Латунь ЛС-59	95
Дуралюмин Д$_1$	115
Магниевый чугун	165
Сталь 30	290



Фиг. 26. Кондуктор накладного типа для сверления в сепараторах отверстий под заклепки.



Фиг. 27. Поворотный кондуктор для сверления гнезд сепараторов.

19. Режимы резания для основных технологических операций обработки массивных сепараторов из различных материалов для универсальных станков*

Наименование операции или перехода	Материал сепараторов																	
	Латунь ЛС-59, БрЖМСУ			Дуралюмин Д-1			Сталь 20, Сталь 30			Графитизированная сталь ЭИ-336, ЭИ-833			Магниевый чугун			Текстолит		
	Марка материала режущего инструмента	Режимы резания		Марка материала режущего инструмента	Режимы резания		Марка материала режущего инструмента	Режимы резания		Марка материала режущего инструмента	Режимы резания		Марка материала режущего инструмента	Режимы резания		Марка материала режущего инструмента	Режимы резания	
		v в *м/мин*	s в *мм/об*		v в *м/мин*	s в *мм/об*		v в *м/мин*	s в *мм/об*		v в *м/мин*	s в *мм/об*		v в *м/мин*	s в *мм/об*		v в *м/мин*	s в *мм/об*
Обточка, расточка заготовок (предварительная)	Т5К10	350 400	0,15 0,25	Т5К10	200 150	0,25 0,30	Т5К10	80 100	0,30 0,40	Т5К10	80 100	0,15 0,20	ВК8	75 100	0,25 0,35	ВК8	220 250	0,05 0,10
Обточка, расточка заготовок (чистовая)	Т5К10	450 350	0,10 0,15	Т5К10	200 250	0,25 0,30	Т5К10	100 140	0,20 0,40	Т5К10	130 130	0,25 0,25	Т5К10	130 150	0,25 0,30	ВК8	220 250	0,05 0,10
Подрезка торца	Т5К10	350 550	0,10 0,15	Т5К10	200 250	0,15 0,25	Т5К10	80 140	0,20 0,30	Т5К10	100 120	0,15 0,20	ВК8 Т5К10	75 150	0,20 0,25	ВК8	220 250	0,05 0,10
Отрезка, вырезка	Т5К10	130 140	0,08 0,12	Р18	110 130	0,08 0,12	Р18	30 40	0,15 0,20	Р18	30 40	0,15 0,20	Т5К10	50 90	0,10 0,15	ВК8	220 250	0,05 0,10
Сверление гнезд	Р18	35 40	0,15 0,22	Р9	35 40	0,12 0,16	Р18	28 32	0,15 0,20	Р18	20 28	0,10 0,15	Р9	50 60	0,12 0,20	Р9	30 40	0,05 0,10
Сверление отверстий под заклепки	Р18	30 40	0,05 0,10	Р18	20 30	0,05 0,10	Р18	15 20	0,03 0,05	Р18	20 25	0,03 0,05	Р18	25 30	0,05 0,12	Р9	30 40	0,03 0,05
Зенкерование гнезд	Р18	20 30	0,15 0,22	Р9	30 35	0,14 0,16	Р18	24 28	0,15 0,20	—	—	—	Р9	50 60	0,15 0,20	Р9	30 35	0,70 1,00
Тонкое растачивание гнезд	—	—	—	—	—	—	Т5К10	100 120	0,05 0,10	Т5К10	300 320	0,04 0,05	—	—	—	—	—	—
Протягивание и прошивка гнезд**	ХВГ Р9	5 10	0,12 0,05	ХВГ Р9	5 8	0,12 0,05	Р9	4 7	0,10 0,04	Р9	4 7	0,07 0,02	Р9	4 7	0,10 0,04	Р9	5 6	—

* Режимы даны для стали с учетом применения охлаждения эмульсией. Обработка латуни производится без охлаждения.
** При протягивании подачи — в *мм/зуб*.

Технические условия на массивные сепараторы. Чистота обработанных поверхностей массивных сепараторов по ГОСТ 2789-59 регламентируется данными, приведенными в табл. 20.

Допуски на изготовление основных поверхностей сепараторов нормальной точности и допускаемые погрешности их геометрической формы приведены в табл. 21.

20. Технические условия на микрогеометрию обработанных поверхностей массивных сепараторов

Размеры в *мм*

Наименование поверхности сепаратора	Классы точности подшипников в зависимости от диаметра сепаратора					
	Н и П		В и А		С	
	До 400	Свыше 400	До 400	Свыше 400	До 400	Свыше 400
Поверхность гнезда под тело качения	6	5	7	6	7	—
Направляемая поверхность наружная или внутренняя	6	5	7	6	8	—
Поверхность торцов	5	5	6	5	7	—
Остальные поверхности	5	4	5	5	6	—

Примечание. Для сепараторов, изготовленных из черных металлов, разрешается иметь чистоту поверхности гнезда ниже на один класс, чем это указано в таблице.

21. Допуски на размеры и геометрические параметры массивных сепараторов*

Размеры в *мм*

Центрирующая поверхность		Разностенность		Непараллельность торцов		Смещение осей гнезд (разностенность)	
Наружный диаметр	Допуск	Наружный диаметр	Разностенность	Наружный диаметр	Допуск	Диаметр гнезд	Допуск
До 80	0,10	До 50	0,08	До 50	0,08	До 10	0,10
80—180	0,15	50÷120	0,12	50÷120	0,10	10÷15	0,12
180—270	0,25	120÷150	0,15	120÷150	0,12	15÷22	0,14
Свыше 270	0,30	150÷200	0,20	150÷200	0,15	22÷30	0,16
		200÷300	0,25	200÷300	0,20	30÷35	0,19
		Свыше 300	0,30	Свыше 300	0,25	35÷50	0,23
						Свыше 50	0,27

*Допускаемое отклонение на диаметр расположения осей гнезд независимо от размера устанавливается ±0,05 *мм*. Допускаемое отклонение на расстояние между осями гнезд независимо от размера устанавливается ±0,10 *мм*.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Романовский В. П., Справочник по холодной штамповке, Машгиз М.— Л. 1954.
2. Мешерин В. Т., Справочник по листовой штамповке и штампам, Росгизместпром, 1950.
3. Лурье Г. Б., Технология производства подшипников качения, Машгиз, М. 1949.
4. «Werkstattsthechnik und Mashinenbau» т. 45, № 3, март, 1955.
5. Львов Д. С., Рождественский Ю. Л., Абрамов А. В., Литвак Л. К., Штамповка кольцевых заготовок, Машгиз, 1958.
6. Львов Д. С., Изготовление сепараторов подшипников качения из электросварных труб, «Технология подшипникостроения» № 17, ЭНИИПП, 1958.
7. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом, под ред. В. С. Мильмана, Машгиз, М. 1955.
8. Иванова А. Н., Белков С. Ф., Применение магниевого чугуна для сепараторов подшипников качения. Периодическая информация ВИНТИ, АН СССР, 1955.
9. Лысова Е. П., Исследование силы резания при протягивании чугуна и цветных металлов. Сборник научно-технической информации № 19, ЭНИИПП, 1959.

Глава XXII

СБОРКА ПОДШИПНИКОВ

Технологический процесс сборки состоит из размещения тел качения (шариков или роликов): для стандартных подшипников — между наружным и внутренним кольцами и фиксации их положения сепаратором; для бессепараторных подшипников — между наружным и внутренним кольцами; для бесколечных подшипников — в сепараторе.

При этом сочетание размеров диаметров поверхностей качения деталей подшипников должно обеспечивать нормальные условия работы подшипников.

Основными показателями этих условий или контрольными параметрами собранных подшипников являются:

для шариковых и роликовых радиальных и сферических роликовых подшипников — радиальный зазор между кольцами и телами качения;

для сферических шарикоподшипников — осевая игра;

для радиально-упорных шарикоподшипников однорядных — угол контакта шариков с дорожками качения колец (обусловленный комплектовочным условным радиальным зазором) и монтажная высота;

для радиально-упорных шарикоподшипников двухрядных — натяг;

для радиально-упорных роликоподшипников и упорных шарико- и роликоподшипников — монтажная высота;

для двух- и четырехрядных конических роликоподшипников — осевая игра.

При селективной сборке детали предварительно рассортировывают на размерные группы, в которых колебания размеров составляют только некоторую часть производственного допуска на обработку деталей. Подборкой рассортированных деталей, относящихся к соответствующим группам, можно получить подшипник, отвечающий техническим требованиям.

Технологический процесс селективной сборки подшипников состоит из циклов: А — комплектования деталей; Б — подборки подшипников; В — сборки подшипников; Г — контроля собранных подшипников; Д — консервации подшипников. Контролируемые параметры для основных типов подшипников приведены в табл. 1.

Каждый цикл техпроцесса сборки состоит из операций, типовая схема которых (маршрутная технология) дана в табл. 2.

Для осуществления селективной сборки подшипников требуются условия, которые можно отнести к недостаткам этого метода.

1. Необходимость в заделах комплектуемых деталей перед их сборкой на складе комплектования и отсюда потребность в значительных площадях для хранения деталей и их рассортировки на группы.

2. Трудоемкость процесса сортировки колец (на 60 групп) и их подборка вручную требуют от подборщиц некоторых специфических качеств, например ощущения на ощупь микронных величин радиального зазора или осевой игры.

Особенно трудоемкими в сборке являются межцикловая и межоперационная транспортировка деталей полуфабрикатов (подобранных подшипников) и собранных подшипников.

Примером решения этой проблемы служит автоматическая сборка шарикоподшипников 307К1 и конических роликоподшипников 7815К1, успешно внедренная в цехе автоматических линий 1ГПЗ *.

---

* Описание автоматической сборки приведено в главе XXV.

1. Циклы сборки и контролируемые параметры основных типов подшипников

Типы подшипников		№ серии	Наименование циклов: Комплектование	Подборка	Сборка: Подготовительно-сборочные операции	Клепка	Обжимка, запрессовка, чеканка, сварка и др.	Консервация подшипников	Контролируемые параметры: при подборке: Радиальный зазор	Натяг	Осевая игра	Монтажная высота	после сборки: Вращение	Внешний вид и дефекты клепки, обжимки и др.	по геометрии и чистоте поверхности: Шумность	Проворачиваемость, выворачиваемость	Габариты	Внешний вид	Биение	по консервации: Состав и режим ванн
Шариковые	Радиальные Однорядные	200, 300, 400	п	п	п	п	н	п	п	н	ч	н	п	п	п	н	п	п	п	п
		60 200, 80 000	п	п	п	п	п	п	п	н	н	н	п	п	п	н	п	п	п	п
	Радиальные сферические (самоустанавливающиеся)	1 000	п	п	н	н	н	п	н	н	п	н	п	н	п	п	п	п	п	п
	Радиально-упорные	6 000,	н	н	п	н	п	п	н	н	н	п	п	п	п	н	п	п	п	п
		36 000, 46 000	п	п	п	н	н	п	п[2]	н	н	п	п	п	п[1]	н	п	п	п	п
		56 000, 76 000	п	п	ч	н	н	п	н	п	н	н	п	н	н	н	н	н	н	п
		876 000	н	н	п	н	ч	п	н	н	н	н	п	н	н	н	н	п	н	п
Роликовые	Упорные	8 000, 38 000	ч[1]	ч[1]	п	н	п	п	н	н	н	п	п	п	п	н	п	п	п	п
	Конические	7 000,	ч[1]	н	п	н	п	п	н	н	н	п	п	п	п	н	п	п	п	п
		7 209	п	п	п	н	п	п	н	н	н	п	п	п	п	н	п	п	п	п
	Радиальные с короткими цилиндрическими роликами	2 000, 32 000 42 000	н	п	п	п	н	п	п	н	ч	н	п	п	п	н	п	п	п	п
	Игольчатые	4 074 000,	н	н	п	н	п	п	н	н	н	н	п	п	н	п	п	п	н	п
		4 084 000	н	н	п	н	п	п	н	н	н	н	п	п	н	п	п	п	н	п
	Радиальные сферические двухрядные	3 000	п	п	н	н	н	п	п	н	н	н	п	н	п	п	п	п	п	п

Условные обозначения: п — цикл применяется и параметр контролируется; н — цикл не применяется и параметр не контролируется, ч — цикл сборки или контроль параметра применяют частично.

[1] Применяемость цикла зависит от допуска на монтажную высоту подшипника.
[2] Расчетный радиальный зазор.

2. Маршрутная технология сборки крупносерийных и массовых стандартных типов подшипников

№ операции	Наименование циклов сборки и операций	Типы подшипников: Шариковые: Радиальные однорядные — № серии 200, 300, 400	Шариковые: Радиальные однорядные — № серии 60 200, 80 000	Шариковые: Радиальные сферические — № серии 1000	Шариковые: Радиально-упорные — № серии 6000, 36 000, 46 000	Шариковые: Радиально-упорные — № серии 876 000	Шариковые: Упорные — № серии 56 000	Шариковые: Упорные — № серии 8 000, 38000	Роликовые: Конические — № серии 7 000	Роликовые: Конические — № серии 7 209	Роликовые: Радиальные с короткими цилиндрическими роликами — № серии 2 000, 32 000 42 000	Роликовые: Игольчатые — № серии 4 074 000	Роликовые: Игольчатые — № серии 4 084 000	Роликовые: Радиальные сферические двухрядные — № серии 3 000
	А. Комплектование деталей													
1	Приемка на склад сборки деталей (в смазанном виде)	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
2	Укладка деталей на стеллажи	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
3	Подача колец к столам сортировки	п	п	п	п	п	п	п	$п_1$	п	п	п	п	п
4	Предварительная сортировка колец по диаметрам дорожек или по высоте	п	п	п	п	н	н	п	$п^1$	п	п	н	н	п
5	Укладка рассортированных колец на стеллажи	п	п	п	п	н	н	п	п	п	п	н	н	п
6	Выдача заказов на детали для укомплектования подшипников	п	п	п	п	н	н	$п^2$	н	п	п	н	н	п
7	Выдача деталей на сборку	п	п	п	п	н	п	п	п	п	п	п	п	п
	Б. Подборка подшипников													
1	Подача деталей на рабочие места	п	п	п	п	н	п	п	н	п	п	н	н	п
2	Промывка: колец	п	п	п	п	н	п	п	н	п	п	н	н	п
	шариков	п	п	п	п	н	п	п	н	н	н	н	н	н
	роликов	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	п
	сепараторов	н	н	п	н	н	н	п	н	п	п	н	н	п
	шайб	н	н	н	н	н	н	н	н	н	п	н	н	п
3	Окончательная сортировка колец	п	п	п	н	н	п	$п^2$	н	н	п	н	н	н
4	Заполнение сепаратора телами качения	н	н	п	н	н	н	п	н	п	п	н	н	п
5	Завальцовка сепараторов с шариками	н	н	н	н	н	н	п	н	н	н	н	н	н
6	Подборка подшипников: по радиальному зазору (натягу)	п	п	п	п	н	п	н	н	н	п	н	н	п
	по монтажной высоте	н	н	н	п	н	н	п	н	н	п	н	н	
7	Вставление последнего шарика или роликов	п	п	п	н	н	п	н	н	н	н	н	н	п
8	Промывка подобранных подшипников[2]	п	п	п	п	н	н	н	н	н	н	н	н	п
9	Сдача остатков колец на склад комплектования	п	п	п	п	н	п	п	п	п	п	п	п	п
10	Смена промывочной жидкости	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
11	Контроль радиального зазора, натяга, монтажной высоты, осевой игры													
	В. Сборка подшипников													
1	Подача подшипников на промывку	п	п	п	п	н	п	п	н	н	п	н	н	п
2	Подача на сборку сепараторов, заклепок, распорок	п	п	п	п	п	п	п	п	н	п	п	п	п
3	Промывка: колец	н	н	н	н	п	н	п	п	п	н	п	п	н
	тел качения	н	н	н	н	п	н	н	п	п	н	п	п	н
	сепараторов	п	п	н	п	п	п	н	п	н	п	н	н	н
	шайб	н	п	н	н	п	н	п	н	н	п	н	п	н
	заклепок	п	п	н	н	н	н	п	н	н	п	н	н	п

Продолжение табл. 2

№ операции	Наименование циклов сборки и операций	Типы подшипников: Шариковые: Радиальные однорядные; № серии: 200, 300, 400	Шариковые: Радиальные однорядные; № серии: 60 200, 80 000	Шариковые: Радиальные сферические; № серии: 1 000	Шариковые: Радиально-упорные; № серии: 6 000, 36 000 46 000	Шариковые: Радиально-упорные; № серии: 876 000	Шариковые: Радиально-упорные; № серии: 56 000	Шариковые: Упорные; № серии: 8 000, 38 000	Роликовые: Конические; № серии: 7 000	Роликовые: Конические; № серии: 7 209	Роликовые: Радиальные с короткими цилиндрическими роликами; № серии: 2 000, 32 000 42 000	Роликовые: Игольчатые; № серии: 4 074 000	Роликовые: Игольчатые; № серии: 4 084 000	Роликовые: Радиальные сферические двухрядные; № серии: 3 000
4	Вставление заклепок или распорок в сепаратор . . .	п	п	н	н	н	н	п[2]	н	н	п	н	н	н
5	Заполнение сепаратора (или кольца) телами качения . .	н	н	н	п	п	п	п	п	н	н	п	п	н
6	Сборка колец с заполненными сепараторами	н	н	н	п	п	н	п	п	п	п	н	н	н
7	Клепка сепараторов, загибка усиков, гофрировка, отгибка лепестков, обжимка, чеканка, осадка головок, заклепок, цапф, распорок .	п	п	н	п	п	н	п	п	п	п	п	п	н
8	Нагрев наружных колец . .	н	н	н	п	н	п	н	н	н	н	н	н	н
9	Пропитка фетровых уплотнений маслом	н	п	н	н	н	н	н	н	н	н	п	п	н
10	Накладывание шайб и фетровых уплотнений	н	п	н	н	п	н	н	н	н	п	п	п	н
11	Надевание кожуха	н	п	н	п	н	н	н	н	н	н	н	н	н
12	Закладывание смазки	н	п	н	н	п	н	н	н	н	н	н	н	н
13	Зачеканка, запрессовка, завальцовка шайб	н	п	н	п	п	н	н	н	н	н	п	п	н
14	Промывание подшипников или протирание бензином[3]	п	п	н	п	н	н	п	п	п	п	п	п	п
15	Проверка легкости вращения и шумности[4]	п	п	п	п	п	н	н	н	н	п	н	н	п
16	Связывание подшипников . .	н	н	н	н	п	н	п	н	н	п	н	н	н
17	Подача собранных подшипников на контроль	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
18	Окончательный контроль собранных подшипников . .	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
19	Сдача остатков деталей на склад комплектования . .	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
	Д. Консервация подшипников													
1	Промывание и смазка . . .	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
2	Резка бумаги на форматки .	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
3	Подготовка ящиков к упаковке	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
4	Завертывание в бумагу . . .	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
5	Упаковка в коробки и укладка в ящики	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п
6	Укладка ящиков на транспорт и отправка на склад	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п

Условные обозначения: п — операция применяется, н — операция не применяется.

[1] Только внутренние кольца на 2—3 группы. [2] В отдельных случаях. [3] При сухой сборке не производится. [4] Производится выборочно.

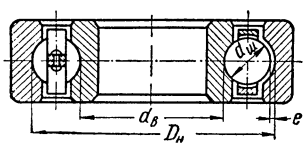
КОМПЛЕКТОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ

Расчеты при комплектовании и подборке шарикоподшипников

Возможность сборки подшипника из деталей, имеющих определенные размеры по поверхностям качения, устанавливают расчетом по формулам, приведенным ниже для каждой конструктивной разновидности типа подшипников.

Шарикоподшипники радиальные однорядные

Параметром комплектования является радиальный зазор e (фиг. 1). Расчет



Фиг. 1. Схема расчета радиального зазора однорядного радиального шарикоподшипника: e — радиальный зазор; $D_н$ — диаметр дорожки качения наружного кольца; $d_в$ — диаметр дорожки качения внутреннего кольца.

комплектных деталей производится по формуле:

$$D_н = d_в + 2d_ш + e.$$

В конструкторских размерах желобов радиальный зазор не учтен и сочетание размеров определяется соотношением:

$$D_н = d_в + 2d_ш.$$

В связи с тем, что сортировка колец на группы производится не по абсолютным величинам, а по отклонениям от номинального размера (эталона), расчеты производят не по фактическим размерам дорожек качения, а по отклонениям их от размера эталона.

$$\Delta D_{н1} = \Delta_{в2} + 2\Delta ш_2 + e_1;$$

$$\Delta D_{н2} = \Delta_{в1} + 2\Delta ш_1 + e_2;$$

$$\Delta_{в1} = \Delta D_{н2} - 2\Delta ш_1 - e_2;$$

$$\Delta_{в2} = \Delta D_{н1} - 2\Delta ш_2 - e_1;$$

$$\Delta ш_1 = \frac{\Delta D_{н2} - \Delta_{в1} - e_2}{2};$$

$$\Delta ш_2 = \frac{\Delta D_{н1} - \Delta_{в2} - e_2}{2},$$

где $\Delta D_{н1}$ — верхнее отклонение диаметра дорожки качения наружного кольца от номинального размера; $\Delta D_{н2}$ — нижнее отклонение диаметра желоба наружного кольца от номинального размера; $\Delta_{в1}$ — верхнее отклонение диаметра дорожки качения внутреннего кольца от номинального размера; $\Delta_{в2}$ — нижнее отклонение диаметра дорожки качения внутреннего кольца от номинального размера; $\Delta ш_1$ — верхнее отклонение диаметра шарика от номинального размера; $\Delta ш_2$ — нижнее отклонение диаметра шарика от номинального размера; e_1 — верхнее значение радиального зазора; e_2 — нижнее значение радиального зазора.

Пример. Найти $\Delta_{в1}$ и $\Delta_{в2}$, если $\Delta D_{н1} = +0{,}015$ *мм* $\Delta D_{н2} = +0{,}01$ *мм*; $\Delta ш_1 = \Delta ш_2 = +0{,}015$ *мм*; $e_1 = 0{,}022$ *мм*; $e_2 = 0{,}012$ *мм*.

$$\Delta_{в1} = \Delta D_{н2} - 2\Delta ш_1 - e_2 =$$

$$= 0{,}01 - 2 \cdot 0{,}015 - 0{,}012 = -0{,}032;$$

$$\Delta_{в2} = \Delta D_{н1} - 2\Delta ш_2 - e_1 =$$

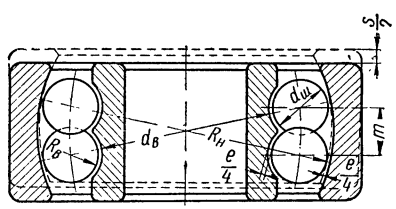
$$= 0{,}015 - 2 \cdot 0{,}015 - 0{,}022 = -0{,}037;$$

$\Delta_{в1} = -0{,}032$ *мм*; $\Delta_{в2} = -0{,}037$ *мм*.

При комплектовании деталей в производственных условиях можно пользоваться специальными номограммами, которые составляют на основании приведенного расчета. Номограммы бывают двух видов: для предварительного комплектования и для подборки. Пример такой номограммы для подборки приведен в табл. 10.

Шарикоподшипники радиальные сферические самоустанавливающиеся

Контрольным параметром комплектования служит осевая игра (фиг. 2).



Фиг. 2. Схема расчета радиального и осевого зазора радиального сферического шарикоподшипника: e — радиальный зазор; s — осевой зазор; m — расстояние между центрами шариков; $R_н$ — радиус сферы наружного кольца; $R_в$ — радиус желоба внутреннего кольца.

Расчет комплектных деталей производят аналогично расчету шариковых однорядных радиальных подшипников, но с предварительным определением расчет-

ного радиального зазора, так как по техническим условиям эти подшипники контролируются на допустимую осевую игру. Величины отклонений радиального зазора подсчитывают по формулам:

$$e_1 = \frac{s_1^2 + 2s_1 \cdot m_2}{4\,(R_{н2} + R_{в2} - dш_2)};$$

$$e_2 = \frac{s_2^2 + 2s_2 \cdot m_1}{4\,(R_{н1} + R_{в1} - dш_1)},$$

где s_1 — верхнее значение осевой игры; s_2 — нижнее значение осевой игры; m_1 — верхнее значение расстояния между центрами шариков; m_2 — нижнее значение расстояния между центрами шариков; $R_{н1}$ — верхнее значение радуса сферы наружного кольца; $R_{н2}$ — нижнее значение радиуса сферы наружного кольца; $R_{в1}$ — верхнее значение радиуса желоба внутреннего кольца; $R_{в2}$ — нижнее значение радиуса желоба внутреннего кольца; $dш_1$ — верхнее отклонение диаметра шарика; $dш_2$ — нижнее отклонение диаметра шарика.

Пример. Определить верхнее и нижнее отклонения расчетного радиального зазора e подшипника 1204 по данным;

$$s = 0{,}06 \div 0{,}085 \text{ мм};$$
$$m = 6{,}0 \pm 0{,}04 \text{ мм};$$
$$R_н = 19{,}925 \pm 0{,}025;$$
$$R_в = 3{,}42 \pm 0{,}04; \quad dш = 6{,}36 \text{ мм};$$

$$e_1 = \frac{s_1^2 + 2s_1 m_2}{4\,(R_{н2} + R_{в2} - dш_1)} =$$

$$= \frac{0{,}085^2 + 2 \cdot 0{,}085 \cdot 5{,}96}{4\,(19{,}9 + 3{,}38 - 6{,}35)} = 0{,}015 \text{ мм};$$

$$e_2 = \frac{s_2^2 + 2s_2 \cdot m_1}{4\,(R_{н1} + R_{в1} - dш_1)} =$$

$$= \frac{0{,}06^2 + 2 \cdot 0{,}06 \cdot 6{,}04}{4\,(19{,}95 + 3{,}46 - 6{,}35)} = 0{,}011 \text{ мм}.$$

Шарикоподшипники радиально-упорные

В радиально-упорных подшипниках (фиг. 3) требуется выдержать угол контакта β и допуск на монтажную высоту.

Для обеспечения заданного угла контакта рассчитывают так называемый условный радиальный (или диаметральный) зазор по формулам:

$$e = 4\,(R - r)\,(1 - \cos\beta)$$

при условии, что $R_н = R_в$;

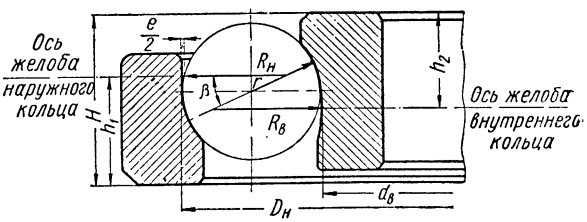
$$e = 4\,(R_2 - r_1)\,(1 - \cos\beta_1);$$

$$e = 4\,(R_1 - r_2)\,(1 - \cos\beta_2)$$

или

$$e = 2\,[(R_н - r) + (R_в - r)]\,(1 - \cos\beta)$$

при условии, что $R_н \neq R_в$,



Фиг. 3. Схема расчета условного радиального зазора радиально-упорных подшипников: $D_н$ — диаметр и $R_н$ — радиус сферы наружного кольца; $d_в$ — диаметр и $R_в$ — радиус желоба внутреннего кольца; H — монтажная высота подшипника; r — радиус шарика; β — угол контакта шара с желобом кольца; h_1 и h_2 — соответствующие расстояния между базовыми торцами колец и осями желобов колец; $e_к$ — половина условного радиального зазора

где R — радиус профиля желоба колец (или сферы);

r — радиус шарика;

β_1 и β_2 — верхнее и нижнее значение угла контакта шариков с желобами в шариковых подшипниках в градусах.

Пример расчета условного радиального зазора для подшипника 916913 при $R = 5{,}32 + 0{,}08$ мм; $r = 5{,}16$ мм $+ 0{,}015 - 0{,}038$; $\beta = 30 \pm 9°$.

$$e_1 = 4\,(R_2 - r_1)\,(1 - \cos\beta_1) = 4\,(5{,}32 - 5{,}175) \times (1 - \cos 39°) = 4 \cdot 0{,}145 \cdot (1 - 0{,}777) =$$
$$= 0{,}58 \cdot 0{,}223 = 0{,}129 \approx 0{,}13 \text{ мм};$$

$$e_2 = 4\,(R_1 - r_2)\,(1 - \cos\beta_2) =$$
$$= 4\,(5{,}4 - 5{,}122) \cdot (1 - \cos 21°) =$$
$$= 4 \cdot 0{,}278 \cdot (1 - 0{,}934) =$$
$$= 1{,}11 \cdot 0{,}66 = 0{,}073 \approx 0{,}07 \text{ мм}.$$

Проверкой соотношения размеров поверхностей качения устанавливается величина радиального зазора $e_к$ (условный радиальный зазор по конструкторскому чертежу). Например, при $D_н = 92{,}876$ мм; $d_в = 72{,}124$ мм; $dш = 10{,}319$ мм радиальный зазор $e_к = D_н - d_в - 2dш = 92{,}876 - 72{,}124 - 2 \times 10{,}319 = 0{,}114$ мм.

Дальнейший расчет комплектных деталей производится по соотношениям:

$$\Delta D_{н1} = \Delta в_2 + 2\Delta ш_2 + (e_1 - e_к);$$

$$\Delta D_{н2} = \Delta в_1 + 2\Delta ш_1 + (e_2 - e_к);$$

$$\Delta в_1 = \Delta D_{н2} - 2\Delta ш_1 - (e_2 - e_к);$$

$$\Delta в_2 = \Delta D_{н1} - 2\Delta ш_2 - (e_1 - e_к);$$

$$\Delta ш_1 = \frac{\Delta D_{н2} - \Delta в_1 - (e_2 - e_к)}{2};$$

$$\Delta ш_2 = \frac{\Delta D_{н1} - \Delta в_2 - (e_1 - e_к)}{2},$$

где $e_к$ — величина зазора, предусмотренная в конструкторском чертеже и в эталоне для сортировки колец.

Пример. Определить размер комплектных шариков при $\Delta D_н = 0 \div -0{,}02$; $\Delta в = 0 \div -0{,}02$;

$\Delta e_к = 0{,}114$; $e_2 = 0{,}07$; $e_1 = 0{,}13$ *мм*.

$$\Delta ш_1 = \frac{(-0{,}02 - 0) - (0{,}07 - 0{,}114)}{2} = \frac{+0{,}024}{2} = +0{,}012 \text{ мм};$$

$$\Delta ш_2 = \frac{(-0{,}02 - 0) - (0{,}13 - 0{,}114)}{2} = \frac{+0{,}004}{2} = +0{,}002 \text{ мм}.$$

Проверка обеспечения заданной монтажной высоты, при установленных величинах e_1 и e_2, производится по формуле:

$$H = (h_н + h_в) - 2(R - r)\sin\beta,$$

откуда

$$H_1 = (h_{н1} + h_{в1}) - 2(R_2 - r_1)\sin\beta_1;$$

$$H_2 = (h_{н2} + h_{в2}) - 2(R_1 - r_2)\sin\beta_2,$$

где $h_н$ и $h_в$ — расстояние от оси желоба до базового торца у наружного и внутреннего колец; H_1 и H_2 — верхнее и нижнее значения монтажой высоты подшипника; $h_{в_1}$ и $h_{в_2}$ — верхнее и нижнее значения расстояния желоба до базового торца у внутреннего кольца.

Углы β_1 и β_2 определяют из выражений:

$$\cos\beta_1 = 1 - \frac{e_2}{4(R_2 - r_1)};$$

$$\cos\beta_2 = 1 - \frac{e_1}{4(R_1 - r_2)}.$$

Пример. Определить монтажную высоту подшипника 916913, если $h_н = 11{,}5 \pm 0{,}045$; $h_в = 15{,}5 \pm 0{,}05$; $R = 5{,}32^{+0{,}08}$; $r = 5{,}16^{+0{,}015}_{-0{,}038}$;

$e_1 = 0{,}13$ *мм*; $e_2 = 0{,}07$ *мм*.

$$\cos\beta_1 = 1 - \frac{0{,}07}{4(5{,}32 - 5{,}175)} = 1 - 0{,}121 = 0{,}879;$$

$$\beta_1 = 28°29';$$

$$\cos\beta_2 = 1 - \frac{0{,}13}{4(5{,}4 - 5{,}122)} = 1 - 0{,}116 = 0{,}884;$$

$$\beta_2 = 27°53',$$

$$H_2 = (11{,}455 + 15{,}45) - 2(5{,}4 - 5{,}122) \times \sin 27°53' = 26{,}905 - 0{,}556 \cdot 0{,}468 =$$

$$= 26{,}905 - 0{,}267 = 26{,}645 = 27^{-0{,}355}_{} \text{ мм};$$

$$H_1 = (11{,}545 + 15{,}55) - 2(5{,}32 - 5{,}175)\sin 28°29' =$$

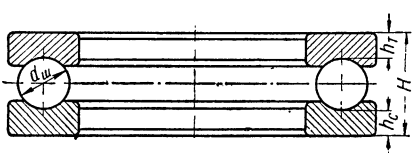
$$= 27{,}095 - 0{,}292 \cdot 0{,}478 = 27{,}095 - 0{,}14 =$$

$$= 26{,}955 = 27^{-0{,}045} \text{ мм}.$$

Высота по конструкторскому чертежу $H_к = 27 - 0{,}4$ *мм*.

Шарикоподшипники упорные

Контрольным параметром комплектования служит монтажная высота.



Фиг. 4. Схема расчета высоты упорного шарикоподшипника: H — высота подшипника; h_c — высота свободного кольца от наружного торца до дна желоба; $h_т$ — высота дна желоба тупого кольца от наружного торца до дна желоба.

Расчет комплектования подшипников (фиг. 4) производят по формуле:

$$\Delta H = \Delta T + \Delta c + \Delta ш;$$

$$\Delta H_1 = \Delta T_1 + \Delta c_1 + \Delta ш_1;$$

$$\Delta H_2 = \Delta T_2 + \Delta c_2 + \Delta ш_2,$$

где ΔH — отклонение высоты подшипника от номинального размера; ΔH_1 и ΔH_2 — верхнее и нижнее отклонения высоты подшипника от номинального размера; ΔT — отклонение высоты дна желоба тугого кольца от номинального размера ΔT_1 и ΔT_2 — верхнее и нижнее отклонения высоты кольца до дна желоба тугого кольца от номинального размера; Δc — отклонение глубины дна желоба свободного кольца от номинального размера; Δc_1 и Δc_2 — верхнее и нижнее отклонения глубины дна желоба свободного кольца от номинального размера.

Пример. Определить верхнее и нижнее отклонения монтажной высоты подшипника, если

$$\Delta T = -0{,}02 \div -0{,}04 \text{ мм};$$

$$\Delta c = -0{,}04 \div -0{,}06 \text{ мм},$$

а отклонение диаметра шарика $d_{ш} = -0{,}02$ мм.

$$\Delta H_1 = \Delta T_1 + \Delta C_1 + \Delta ш_1 =$$

$$= -0{,}02 + (-0{,}04) + (-0{,}02) = -0{,}08 \text{ мм},$$

$$\Delta H_2 = \Delta T_2 + \Delta C_2 + \Delta ш_2 =$$

$$= -0{,}04 + (-0{,}06) + (-0{,}02) = -0{,}12 \text{ мм}.$$

РАСЧЕТЫ ПРИ КОМПЛЕКТОВАНИИ И ПОДБОРКЕ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Роликоподшипники конические

Контрольным параметром комплектования служит монтажная высота H. На монтажную высоту конического подшипника (фиг. 5) влияют отклонения:

1) диаметра роликовой дорожки наружного кольца;

2) диаметра роликовой дорожки внутреннего кольца;

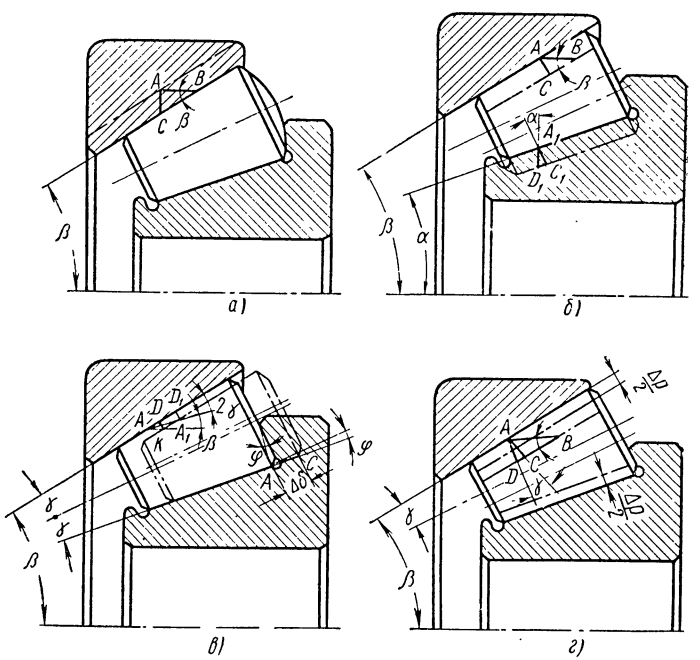
3) диаметра ролика;

4) толщины бортика.

При расчете отклонений монтажной высоты подшипника учитываются коэффициенты изменения высоты $K_н$, $K_в$, $K_р$, $K_б$, наружного и внутреннего колец, ролика и борта внутреннего кольца. Эти коэффициенты можно определить по формулам:

$$K_н = \frac{1}{2\,\mathrm{tg}\beta}; \qquad K_в = \frac{\cos\alpha}{2\sin\beta};$$

$$K_р = \frac{\cos\gamma}{\sin\beta}; \qquad K_б = \frac{\sin 2\gamma}{\sin\beta},$$



Фиг. 5. Схемы к расчету влияния на монтажную высоту Δt конического роликоподшипника: *а* — размера диаметра дорожки качения наружного кольца ΔD: $AC = \Delta D$; $AB = \Delta td$; β — угол конуса наружного кольца; *б* — размера диаметра дорожки качения внутреннего кольца Δd: $AD = \Delta d$; $AB = \Delta td$; $AC = A_1C_1$ — величина смещения ролика параллельно образующей; *в* — размера высоты борта $\Delta\delta$: $AC = \Delta\delta$; $AK = \Delta t\delta$; $AC \approx AA_1$; AA_1 — величина смещения ролика параллельно образующей дорожки качения внутреннего кольца; DK и A_1D_1 — величина смещения ролика параллельно своей образующей; *г* — размера диаметра ролика Δp: $AD = \Delta p$; $AB = \Delta tp$; AC — величина смещения ролика параллельно своей образующей.

где α, β, γ — углы наклона образующих дорожек качения соответственно внутреннего, наружного колец и ролика.

Влияние отклонений угла конуса поверхности качения на монтажную высоту в данном расчете не учитывается.

Отклонения монтажной высоты конического подшипника за счет изменения размеров других деталей подшипника Δt и отклонения требуемого комплектного ролика подсчитывают по следующим формулам:

$$\Delta tD_1 = \Delta D_1 \cdot K_н; \quad \Delta tD_2 = \Delta D_2 \cdot K_н;$$

$$\Delta td_1 = \Delta d_1 \cdot K_в; \quad \Delta td_2 = \Delta d_2 \cdot K_в;$$

$$\Delta tб_1 = \Delta б_1 \cdot K_б; \quad \Delta tб_2 = \Delta б_2 \cdot K_б;$$

$$\Delta t_{p_1} = \Delta_{p_1} \cdot K_p;$$

$$\Delta t_{p_2} = \Delta_{p_2} \cdot K_p;$$

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta t_1 - \Delta tD_1 - \Delta td_1 - \Delta tб_1}{K_p};$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta t_2 - \Delta tD_2 - \Delta td_2 - \Delta tб_2}{K_p}.$$

Здесь ΔtD_1 и ΔtD_2 — верхнее и нижнее значения отклонений монтажной высоты подшипника в результате отклонений ΔD_1 и ΔD_2; Δtd_1 и Δtd_2 — верхнее и нижнее значения отклонений монтажной высоты подшипника в результате отклонений Δd_1 и Δd_2; $\Delta tб_1$ и $\Delta tб_2$ — верхнее и нижнее значения отклонений монтажной высоты в результате отклонений $\Delta б_1$ и $\Delta б_2$; Δtp_1 и Δtp_2 — верхнее и нижнее значения отклонений монтажной высоты в результате отклонений Δp_1 и Δp_2; ΔD_1 и ΔD_2 — верхнее и нижнее значения допуска (или отклонения) на размер диаметра дорожки качения наружного кольца; Δd_1 и Δd_2 — верхнее и нижнее значения допуска (или отклонения) на размер диаметра дорожки качения внутреннего кольца; $\Delta б_1$ и $\Delta б_2$ — допуск (или отклонение) на высоту борта внутреннего кольца; Δp_1 и Δp_2 — допуск (или отклонение) на размер диаметра ролика.

Пример расчета отклонений комплектных роликов для подшипника 7815К1 при $\beta = 15°$; $\alpha = 11°30'$; $\gamma = 1°45'$; $\Delta H = -0{,}02 \div -1{,}0$; $\Delta D = 0 \div +0{,}225$; $\Delta d = 0 \div -0{,}15$; $\Delta б = -0{,}15$ *мм*.

Определяем коэффициенты:

$$K_н = \frac{1}{2 \cdot \operatorname{tg} 15°} = \frac{1}{2 \cdot 0{,}268} = 1{,}87;$$

$$K_в = \frac{\cos 11°30'}{2 \sin 15°} = \frac{0{,}98}{2 \cdot 0{,}259} = 1{,}89;$$

$$K_p = \frac{\cos 1°45'}{2 \cdot \sin 15°} = \frac{0{,}999}{0{,}259} = 3{,}86;$$

$$K_б = \frac{\sin 2 \cdot 1°45'}{\sin 15°} = \frac{0{,}062}{0{,}259} = 0{,}24.$$

Тогда отклонение монтажной высоты подшипника за счет отклонений наружного кольца (фиг. 5, *а*):

$$\Delta tD_1 = \Delta D_1 \cdot K_н = 0 \cdot 1{,}87 = 0;$$

$$\Delta tD_2 = \Delta D_2 \cdot K_н = -(0{,}225 \cdot 1{,}87) = -0{,}42 \text{ мм};$$

внутреннего кольца (фиг. 5, *б*):

$$\Delta td_1 = \Delta d_1 \cdot K_в = 0 \cdot 1{,}89 = 0,$$

$$\Delta td_2 = \Delta d_2 \cdot K_в = -0{,}15 \cdot 1{,}89 = -0{,}284 \text{ мм};$$

борта (фиг. 5, *в*) внутреннего кольца:

$$\Delta tб_1 = \Delta б_1 K_б = 0 \cdot 0{,}24 = 0,$$

$$\Delta tб_2 = \Delta б_2 K_б = -0{,}15 \cdot 0{,}24 = -0{,}036 \text{ мм}.$$

В этом случае предельные отклонения комплекта роликов по диаметру (фиг. 5, *г*) при взаимозаменяемом наружном и внутреннем кольце будут:

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta H_1 - \Delta tD_1 - \Delta td_1 - \Delta tб_1}{K_p} = \frac{-0{,}02 - 0 - 0 - 0}{3{,}86} = -0{,}005 \text{ мм};$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta H_2 - \Delta tD_2 - \Delta td_2 - \Delta tб_2}{K_p} = \frac{-1{,}0 - 0{,}42 - 0{,}284 - 0{,}036}{3{,}86} = -0{,}067 \text{ мм}.$$

Если внутреннее кольцо будет невзаимозаменяемым, а наружное взаимозаменяемым, то предельные отклонения комплектных роликов определяют с учетом отклонений размера блока внутреннего кольца [1].

Отклонение высоты подшипника за счет отклонений блока внутреннего кольца можно определить по выражению

$$\Delta бл = \Delta H - \Delta tD - \Delta tб = \Delta td + \Delta tp.$$

[1] Под блоком внутреннего или наружного кольца понимается соединение деталей подшипника, состоящее из одного кольца, тел качения и сепаратора.

В этом случае отклонения комплектных роликов находят по формулам:

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta бл_1 - \Delta d_1 \cdot K_в}{K_p};$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta бл_2 - \Delta d_2 \cdot K_в}{K_p}.$$

Пример 1. Определить предельные отклонения блока внутреннего кольца и предельные отклонения диаметра комплектных роликов, если ΔH—0,05 ÷ — 1,0 *мм*, ΔtD = 0—0 ÷—42, $\Delta tб$ = 0 ÷ — 0,036 *мм*.

Находим:

$$\Delta бл_1 = \Delta H_1 - \Delta tD_1 - \Delta tб_1 = -0,05 - 0 - (-0) = -0,05 \text{ мм};$$

$$\Delta бл_2 = \Delta H_2 - \Delta tD_2 - \Delta tб_2 = -1,0 - (-0,42) - 0,036 = -0,544 \text{ мм},$$

а отклонения комплектных роликов будут:

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta бл_1 - \Delta d_1 \cdot K_в}{K_p} = \frac{-0,05 - 0 \cdot 1,89}{3,86} = -0,012 \text{ мм};$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta бл_2 - \Delta d_2 K_в}{K_p} = \frac{-0,544 - (-0,1 \cdot 1,89)}{3,86} = -0,094 \text{ мм}.$$

Если необходимо найти отклонения внутренних колец по отклонениям комплектных роликов при взаимозаменяемом наружном кольце, то следует воспользоваться формулами:

$$\Delta d_1 = \frac{\Delta бл_1 - \Delta p_1 \cdot K_p}{K_в};$$

$$\Delta d_2 = \frac{\Delta бл_2 - \Delta p_2 \cdot K_p}{K_в}.$$

Пример 2. Определить по условиям, заданным выше, предельные отклонения размера внутреннего кольца Δd_1, если Δp = 0 ÷ — — 0,07 *мм*.

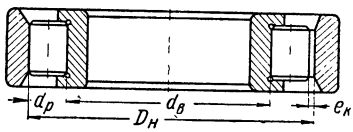
$$\Delta d_1 = \frac{\Delta бл_1 - \Delta p_1 \cdot K_p}{K_в} = \frac{-0,05 - 0 \cdot 3,86}{1,89} = -0,026 \text{ мм};$$

$$\Delta d_2 = \frac{\Delta бл_2 - \Delta p_2 \cdot Kp}{K_в} = \frac{-0,544 - (-0,07 \cdot 3,86)}{1,89} = -0,14 \text{ мм}.$$

Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами

Расчетный параметр для комплектования — радиальный зазор e (фиг. 6). В конструкторском чертеже этого подшипника величина радиального зазора $e_к$ учтена в допуске на шлифование роликовой дорожки невзаимозаменяемого кольца или в ТУ.

Так, например подшипник 2209 имеет размеры $D_н = 75^{+0,025}$ $d_в = 55^{-0,035}_{-0,075}$, $d_р$ = 10 *мм*, радиальный зазор $e_к$ равен 0,035 *мм*.



Фиг. 6. Схема расчета радиального зазора роликоподшипника с цилиндрическими роликами: $D_н$ — диаметр дорожки качения наружного кольца; $d_в$ — диаметр дорожки качения внутреннего кольца; $d_р$ — диаметр ролика; $e_к$ величина радиального зазора, предусмотренная в конструкторском чертеже.

В этом случае размер эталона внутреннего кольца должен иметь размер роликовой дорожки, равный 54,965 *мм*. От этого размера ведутся расчеты комплектных деталей по следующим формулам:

$$\Delta D_{н_1} = \Delta в_2 + 2\Delta p_2 + (e_1 - e_к);$$

$$\Delta D_{н_2} = \Delta в_1 + 2\Delta p_1 + (e_2 - e_к);$$

$$\Delta в_1 = \Delta D_{н2} - 2\Delta p_1 - (e_2 - e_к);$$

$$\Delta в_2 = \Delta D_{н1} - 2\Delta p_2 - (e_1 - e_к);$$

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta D_{н2} - \Delta в_1 - (e_2 - e_к)}{2};$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta D_{н1} - \Delta в_2 - (e_1 - e_к)}{2}.$$

Роликоподшипники радиальные сферические двухрядные самоустанавливающиеся

Расчетный параметр для комплектования — радиальный зазор e (фиг. 7).

Расчет комплектных деталей радиальных сферических роликоподшипников, у которых величина радиального зазора в номинальных размерах колец не предусмотрена, производится по формулам:

$$\Delta D_{н_1} = \Delta в_2 + 2\Delta p_2 + e_1,$$

$$\Delta D_{н_2} = \Delta в_1 + 2\Delta p_1 + e_2;$$

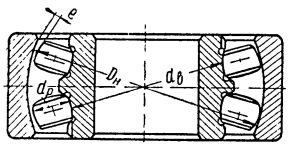
$$\Delta в_1 = \Delta D_{н_2} - 2\Delta p_1 - e_2;$$

$$\Delta в_2 = \Delta D_{н_1} - 2\Delta p_2 - e_1;$$

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta D_{н_2} - \Delta в_1 - e_2}{2};$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta D_{н_1} - \Delta e_2 - e_1}{2}.$$

Для удобства обработки колец и комплектования подшипников рекомендуется установить в операционном чертеже технологический номинальный размер сферы наружных колец с включением в него средней величины радиального зазора. Этот же размер установить и для



Фиг. 7. Схема расчета радиального зазора сферического радиального роликоподшипника: $D_н$ — диаметр сферы наружного кольца: $d_в$ — диаметр роликовой дорожки внутреннего кольца; $d_р$ — диаметр ролика; e — радиальный зазор.

эталона, по которому сортируют кольца на сборке.

В этом случае расчет комплектных деталей следует производить по формулам для роликоподшипников радиальных с короткими цилиндрическими роликами.

СПОСОБЫ КОМПЛЕКТОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ ПО ДИАМЕТРАМ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ

В зависимости от размера партий (массовости выпуска), габаритов тех или иных подшипников в сборочных отделениях или на сборочных участках применяют различные системы или способы комплектования деталей.

Наиболее распространенным для массового и крупносерийного производства подшипников является следующий способ комплектования.

Детали подшипников поступают на сборку с отклонениями по диаметрам поверхностей дорожек качения в пределах, установленных ведомственными нормалями[1].

Предельно допустимые отклонения для колец и тел качения различных подшипников даны в табл. 3—7, составленных по ведомственным нормалям.

[1] Нормали подшипниковой промышленности ГП96-56 и ГП97-56.

3. Предельно допускаемые отклонения по диаметрам дорожек качения колец шарикоподшипников

Типы подшипников	Номинальные диаметры шариков в дюймах						
	До 1/8	Свыше 1/8 до 5/16	Свыше 5/16 до 1/2	Свыше 1/2 до 3/4	Свыше 3/4 до 1 1/32	Свыше 1 1/32 до 1 15/16	Свыше 1 15/16
	Величины отклонений от номинальных диаметров по дорожкам качения в *мм*						
Шарикоподшипники радиальные со змейковыми и корончатыми сепараторами, радиально-упорные и магнетные с невзаимозаменяемыми деталями	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,35	±0,4
Остальные радиальные шарикоподшипники, включая двухрядные сферические и бессепараторные (кроме подшипников типа 980000, 981000 и 971000)	±0,1	±0,125	±0,175	±0,225	±0,325	±0,35	±0,4
Шарикоподшипники радиальные бессепараторные (типа 971000, 980000 и 981000)	±0,2	±0,2	—	—	—	—	—
Шарикоподшипники с трех-и четырехточечными контактами	—	±0,2	±0,3	±0,4	—	—	—

4. Предельно допускаемые отклонения в *мм*

Для колец роликоподшипников с витыми, игольчатыми, короткими и длинными цилиндрическими роликами и сферических двухрядных роликоподшипников

Типы подшипников	Номинальные диаметры роликов в *мм*							
	До 18	Свыше 18 до 50	До 30	Свыше 30 до 50	Для всех размеров	До 10	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 50
	Величины отклонений по диаметрам дорожек качения от предельных размеров по чертежам							
Роликоподшипники радиальные: с сепараторами на заклепках или штампованные	±0,1	±0,2	—	—	—	—	—	—
с сепараторами без заклепок и бессепараторные	—	—	±0,2	±0,3	—	—	—	—
Подшипники с игольчатыми роликами с двумя массивными кольцами	—	—	—	—	±0,3	—	—	—
Сферические двухрядные роликоподшипники	—	—	—	—	—	±0,1	±0,2	±0,3

Для колец конических однорядных роликоподшипников

Отклонения	Номинальные диаметры отверстия колец			
	До 50	Свыше 50 до 120	Свыше 120 до 260	Свыше 260
Диаметра дорожек качения внутренних колец от номинальных размеров	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3
Размеров толщины упорного борта внутренних колец от номинальных размеров	—0,12	—0,15	—0,18	—0,25

5. Предельно допускаемые отклонения для колец упорных роликоподшипников в *мм*

Виды отклонений	С цилиндрическими роликами		С коническими роликами		
			Номинальные диаметры отверстий тугих колец		
	Кольца из стали ШХ15	Кольца из спецсталей	До 30	Свыше 30 до 180	Свыше 180 до 400
Величины отклонений от номинальных размеров толщины колец	±0,3	±0,5	±0,1	±0,15	±0,2

Поступающие на селективную сборку детали сортируют на группы и затем определяются размеры деталей, с которыми они могут быть укомплектованы и собраны.

При отсутствии деталей с необходимыми размерами выдается специальный заказ на изготовление комплектных колец или тел качения.

Предварительная сортировка колец производится на группы через 0,01—0,02 *мм* на ручных приборах для промера диаметров дорожки качения, с ценой деления шкалы 0,005 или 0,01 *мм* (на некоторых заводах, например Харьковский подшипниковый завод, для предварительной сортировки применяются сортировочные автоматы, предназначенные для окончательной сортировки см. стр. 713).

Комплектные группы колец подаются на подборку подшипников. Остальные

6. Предельно допускаемые отклонения по диаметру шариков

Типы подшипников	Номинальные диаметры шариков в дюймах						
	До 1/8	Свыше 1/8 до 5/16	Свыше 5/16 до 1/2	Свыше 1/2 до 3/4	Свыше 3/4 до 1 1/32	Свыше 1 1/32 до 1 15/16	Свыше 1 15/16
	Величины отклонений от номинальных диаметров в *мм*						
Шарикоподшипники радиальные (кроме подшипников со змейковыми и корончатыми сепараторами) и упорные	±0,05	±0,05	±0,075	±0,1	±0,15	±0,175	±0,2
Шарикоподшипники радиальные со змейковыми, корончатыми сепараторами и радиально-упорные	±0,03	+0,03 −0,05	+0,03 −0,075	+0,05 −0,1	+0,1 −0,15	+0,1 −0,175	+0,1 −0,2
Магнетные подшипники:							
а) с взаимозаменяемыми деталями	−0,01	−0,01	—	—	—	—	—
б) с невзаимозаменяемыми деталями	±0,03	±0,05	—	—	—	—	—

7. Предельно допускаемые отклонения по диаметру роликов всех типов

Типы роликов	Номинальные диаметры роликов в *мм*						
	До 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Для всех размеров	До 6	Свыше 6 до 30	Свыше 30 до 50
	Величины отклонений от номинальных диаметров роликов в *мм*						
Короткие и длинные цилиндрические и витые ролики[1]	±0,1	±0,15	±0,2	—	—	—	—
Игольчатые ролики	—	—	—	±0,05	—	—	—
Бочкообразные ролики	±0,1	±0,15	±0,15	—	—	—	—
Конические ролики[2]	—	—	—	—	±0,05	±0,1	±0,15

[1] Для роликоподшипников с короткими цилиндрическими роликами (взаимозаменяемых) отклонение диаметров роликов не должно превышать половины суммы отклонения дорожки качения невзаимозаменяемого кольца и радиального зазора.

[2] Для конических подшипников нормального класса точности (взаимозаменяемых) плюсовое отклонение диаметра роликов должно быть менее половины плюсового отклонения дорожки качения внутреннего кольца: для роликов свыше 6 *мм* до 30 *мм* меньше + 0,05 *мм*, для роликов свыше 30 до 50 *мм* меньше + 0,075 *мм*.

кольца укладываются на стеллажи по группам в установленном порядке, где и хранятся до их укомплектования кольцами, изготовленными по специальному заказу.

Определение размеров комплектных деталей для их заказа и подборки производят в соответствии с номограммами или специальными таблицами комплектования.

На табл. 8 показана таблица комплектования радиально-упорных шарикоподшипников 986711 с соблюдением условного диаметрального зазора от 0,044 до 0,08 *мм* и угла контакта $26^{\pm 10}$ градусов.

В мелкосерийном производстве и, особенно, при изготовлении крупногабаритных, тяжелых подшипников кольца должны комплектоваться непосредственно при их изготовлении и поставляться на сборку укомплектованными попарно.

Оригинальный прибор для шлифования внутренних колец шарикоподшипников по заданному комплектовочному размеру наружного кольца выпускает фирма Ван-Норман (США). Наружное отшлифованное кольцо при этом устанавливается в приспособление, схема которого показана на фиг. 8.

Это приспособление связано с электрическим прибором, контролирующим размер по желобу шлифуемого внутреннего кольца. При достижении требуемого размера станок автоматически останавливается.

8. Комплектование радиально-упорных

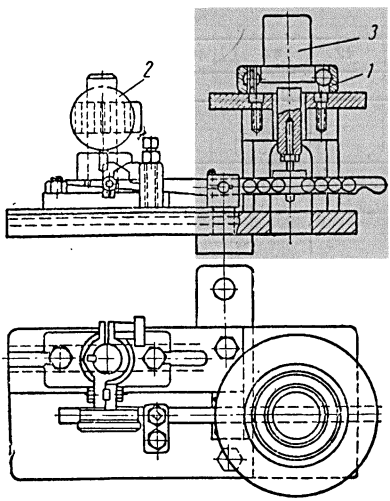
Размеры

Отклонения наружных колец по дорожкам качения		Сортировочные группы	Отклонения внутренних колец							
			−0,09 −0,10	−0,08 −0,09	−0,07 −0,08	−0,06 −0,07	−0,05 −0,06	−0,04 −0,05	−0,03 −0,04	−0,02 −0,03
			Сортировочные							
От	До		12	14	16	18	20	22	24	26
			Отклонения комплектных							
−0,09	−0,10	12	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039
−0,08	−0,09	14	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034
−0,07	−0,08	16	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029
−0,06	−0,07	18	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024
−0,05	−0,06	20	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019
−0,04	−0,05	22	+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014
−0,03	−0,04	24		+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009
−0,02	−0,03	26			+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004
−0,01	−0,02	28				+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009
0	−0,01	30					+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014
0	+0,01	32						+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019
+0,01	+0,02	34							+0,021 +0,029	+0,016 +0,024
+0,02	+0,03	36								+0,021 +0,029
+0,03	+0,04	38								
+0,04	+0,05	40								
+0,05	+0,06	42								
+0,06	+0,07	44								
+0,07	+0,08	46								
+0,08	+0,09	48								
+0,09	+0,10	50								

шарикоподшипников 9867
в *мм*

по дорожкам качения											
−0,01 −0,02	0 −0,01	0 +0,01	+0,01 +0,02	+0,02 +0,03	+0,03 +0,04	+0,04 +0,05	+0,05 +0,06	+0,06 +0,07	+0,07 +0,08	+0,08 +0,09	+0,09 +0,10
группы											
28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
шариков											
−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,050									
−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05								
−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05							
−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05						
−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05					
−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05				
−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05			
−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05		
+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05	
+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049	−0,046 −0,05
+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044	−0,041 −0,049
+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039	−0,036 −0,044
+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034	−0,031 −0,039
+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029	−0,026 −0,034
	+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024	−0,021 −0,029
		+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019	−0,016 −0,024
			+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014	−0,011 −0,019
				+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009	−0,006 −0,014
					+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004	−0,001 −0,009
						+0,021 +0,029	+0,016 +0,024	+0,011 +0,019	+0,006 +0,014	+0,001 +0,009	+0,004 −0,004

Наконец, может применяться и такой способ, при котором кольца шлифуются в пределах конструкторских допусков, а комплектование производится только за счет тел качения. При этом на сборке должны быть шарики или ролики всех требуемых сортировочных групп.



Фиг. 8. Схема приспособления к желобошлифовальному станку для измерения желобов наружных колец: *1* — кольцо подшипника на измерительной позиции; *2* — калибр для измерения; *3* — индикатор.

Этот способ комплектования применяется на сборке шарикоподшипников в цехе-автомате 1ГПЗ. Там кольца поступают на сборку с размерами дорожек качения в пределах конструкторского допуска ± 0,025 и укомплектовываются шариками, размер которых определяется при замере зазора между наружным и внутренним кольцами. При этом способе не требуется предварительной сортировки колец, но необходимо иметь шарики в широком диапазоне размеров (до 36 групп).

ПОДБОРКА ПОДШИПНИКОВ

Промывка скомплектованных деталей подшипников

Скомплектованные детали, подаваемые на сборку, должны быть тщательно промыты, — с них должна быть удалена антикоррозионная смазка.

Детали могут промываться или в горячем водном растворе с последующим охлаждением, или в керосине и бензине. Хотя промывка в керосине и бензине является более качественной, однако по организационным условиям предпочтительнее пользоваться горячим водным раствором. При тщательной промывке деталей, обеспечивающей действительную их чистоту, и при соблюдении полной чистоты помещения и воздуха на сборочных участках создается возможность подбора подшипников в сухом виде («сухая» сборка) без дополнительных промывок, гарантируется бо́льшая пожарная безопасность сборочных помещений, и резко улучшаются санитарно-гигиенические условия труда рабочих.

Для промывки деталей применяют моечные агрегаты и машины: конвейерные, однокамерные — только для промывания деталей, двухкамерные — для промывания и сушки и трехкамерные — для промывания, ополаскивания и сушки деталей[1].

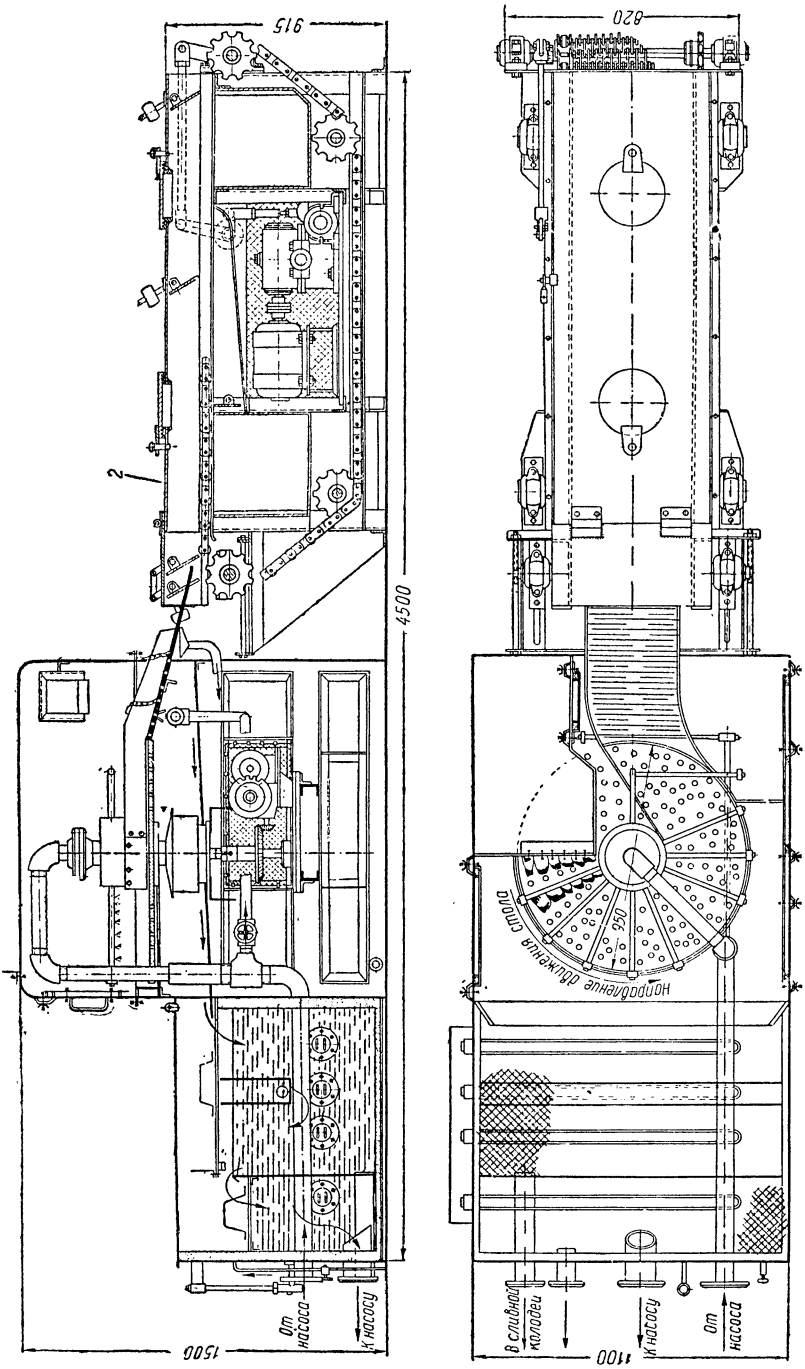
Моечные машины конвейерного типа имеют большие габаритные размеры. Наиболее компактна конструкция агрегата для промывания деталей подшипников — моечная машина карусельного типа системы инженера В. А. Орлова (фиг. 9).

В качестве моющей жидкости в ней применяется нагретый до 70° водный раствор, в состав которого входит 0,5—0,7% триэтаноламина и 0,25% нитрита натрия. Производительность моечной машины при разных диаметрах колец и при разных скоростях стола приведена в табл. 9.

9. Производительность моечной машины карусельного типа

Число оборотов стола в минуту	Наибольшая часовая производительность в шт. колец при наружном диаметре колец в *мм*				Время нахождения кольца в моечной камере в сек.
	60	80	100	130	
1,16	9 500	4 200	2 930	1 680	38
1,5	12 200	5 400	7 770	2 160	29
1,8	14 900	6 600	4 620	2 640	23

[1] Характеристики моечных машин приведены в «Энциклопедическом справочнике машиностроения», т. 14, стр. 272.



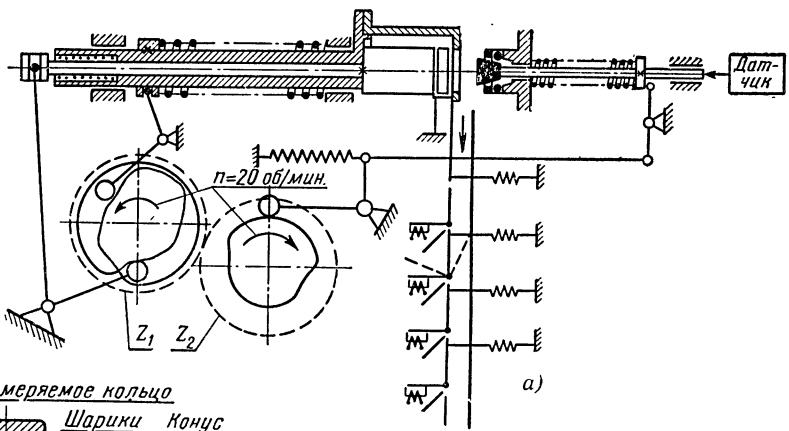
Фиг. 9. Моечная машина карусельного типа для промывания деталей подшипников: *1* — узел мойки; *2* — конвейер с охлаждением колец воздухом.

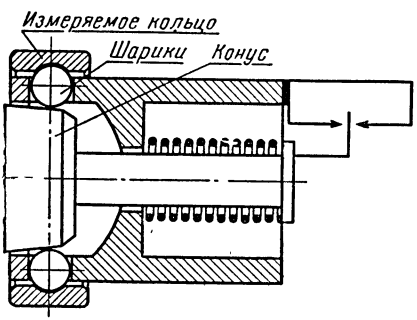
Операцию промывания деталей перед сборкой можно значительно упростить, если в отдельных случаях для промежуточной консервации деталей применять не антикоррозионные смазки, а ингибиторную бумагу.

В этой бумаге можно продолжительное время надежно хранить детали без смазки — сухими.

Окончательная сортировка колец

Сухие и чистые кольца должны быть окончательно рассортированы на группы.





Фиг. 10. Схема автомата для сортировки наружных колец шарикоподшипников по диаметрам желобов.

Для упрощения процесса сортировки и подборки шариковых радиальных подшипников принята система условных обозначений рассортированных колец. В этой системе отклонения размеров колец от номинала обозначаются порядковыми номерами делений шкалы миниметра, считая слева направо.

При этом равнозначные номера групп наружных и внутренних колец указывают на их комплектность друг с другом (при их сборке с номинальным шариком). Отклонение же шарика от номинала требует взаимного смещения групп колец на столько номеров, на сколько микрон больше или меньше размер шариков (при условии сортировки колец на группы через 2 *мк*).

Для окончательной сортировки применяют или те же приборы, что и для предварительной сортировки, или приборы[1] К-173 и К-174 повышенной точности, которые позволяют надежно сортировать кольца на группы с интервалом 2 *мк*, что обеспечивает подборку подшипников с заданным радиальным зазором.

На фиг. 23 гл. XXIV показаны схемы приборов новой конструкции. На том же принципе, что и приборы К-173 и К-174, основаны приборы 053 и 056.

На фиг. 10, *а* приведена принципиальная схема одного из автоматов для сортировки наружных колец шариковых подшипников, созданных на базе этих приборов. Автомат рассортировывает кольца на 10 групп с точностью 2—3 *мк*. Схема измерения на этом автомате показана на фиг. 10, *б*.

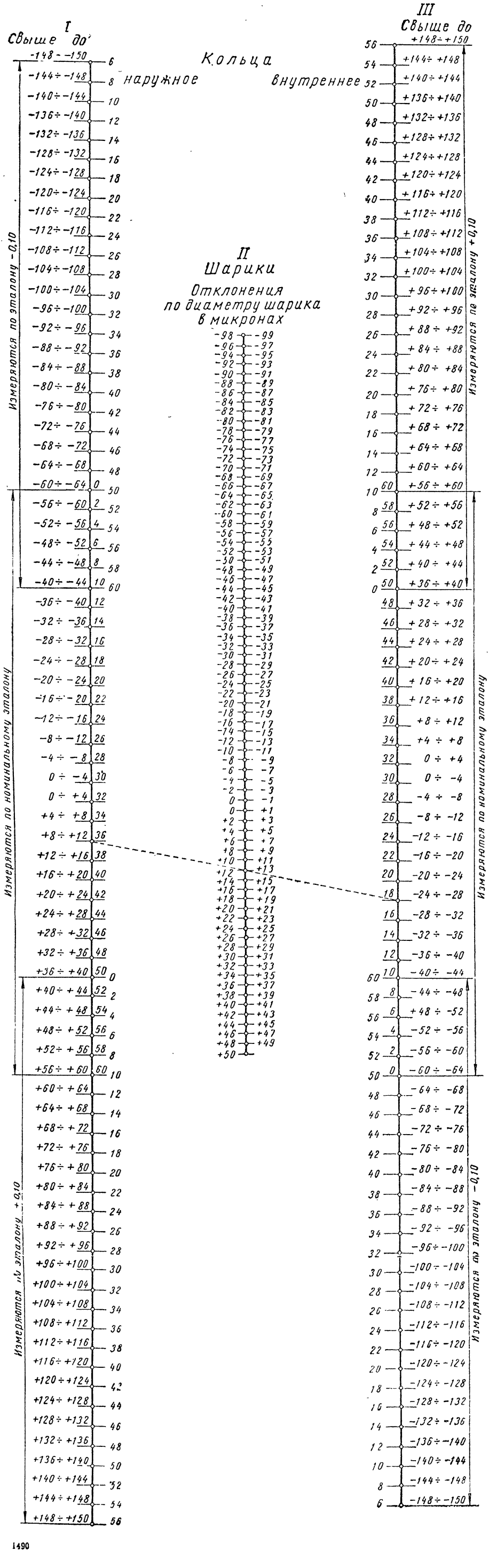
Производительность автомата составляет 1200 колец в час.

Завод ЛИЗ освоил в производстве сортировочные автоматы типа 25АК* для наружных и внутренних колец шарикоподшипников.

Автоматы сортируют кольца на 10 групп с точностью 2—3 *мк*, т. е. в диапазоне 0,02—0,03 *мм*. Производительность автоматов 440 шт/час. Применение

[1] Конструкция инж. Я. М. Банк.

10. Номограмма для подборки радиальных шариковых подшипников 208, 209, 210, 307, 308, 50306, 50208, 50209 при рассортировке колец на группы через 0,004 *мм* с радиальным зазором 0,008—0,018 *мм* при нагрузке ±5 *кГ*.



автоматов для сортировки колец шарикоподшипников особенно целесообразно, когда они работают без переналадок.

Однако диапазон размеров колец, сортируемых на автоматах (0,02 — 0,03 *мм*), по сравнению с фактическим диапазон поступающих на сборку колец (± 0,05 *мм* и более) снижает удобства пользования этим автоматом на окончательной сортировке, так как требует переналадки автоматов. Кроме того, в автоматах не решен вопрос организованной выдачи рассортированных колец на столы подборки.

Подборка подшипников по таблицам и номограммам

Подборка подшипников заключается в соединении окончательно рассортированных наружных и внутренних колец с шариками или роликами таких размеров, которые обеспечивают в подшипнике заданный радиальный зазор, осевую игру, натяг или монтажную высоту.

Для подборки подшипников применяются таблицы и номограммы подборки. Например, сочетания размеров колец и шариков при подборке радиально-упорных подшипников производят по табл. 8. Для подборки радиальных однорядных шарикоподшипников с расчетным радиальным зазором от 0,005 до 0,015 *мм* после окончательной рассортировки колец на группы через 0,004 *мм* пользуются номограммой, приведенной в табл. 10 (см. вклейку).

Номограмма построена по формулам:

$$\Delta_{ш_1} = \frac{\Delta D_{н_2} - \Delta_{б_1} - e_2}{2}$$

и

$$\Delta_{ш_2} = \frac{\Delta D_{н_1} - \Delta_{б_2} - e_1}{2}$$

На шкале I и III этой номограммы нанесены номера сортировочных групп, соответственно величинам отклонений каждой группы наружных и внутренних колец от номинального размера в микронах. Приборы, на которых сортируют кольца, настраиваются по эталонам. При данной точности сортировочных групп применяют эталоны: номинального размера, больше номинального размера на +0,1 *мм* и меньше на —0,1 *мм*.

Соответствующие обозначения эталонов также приведены на номограмме.

11. Радиальный зазор в радиальных однорядных шарикоподшипниках под нагрузкой (по отраслевой нормали ОН 2-57)

Внутренние диаметры подшипников в *мм*		Дополнительный ряд		Основной ряд		Дополнительные ряды				Величина нагрузки, под которой контролируется зазор в *кГ*
		6-й		—		7-й		8-й		
		в *мк*								
Свыше	До	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	
2,5	10	3	10	5	16	11	25	—	—	2
10	18	5	14	8	22	16	30	23	38	5
18	24	5	15	10	24	18	33	25	41	
24	30	5	16	10	24	18	33	28	46	
30	40	5	16	12	26	21	39	33	51	10
40	50	5	16	12	29	24	42	35	56	
50	65	8	20	13	33	28	48	43	66	
65	80	8	20	14	34	29	55	51	76	
80	100	8	23	16	40	34	62	58	89	
100	120	8	25	20	46	41	71	66	102	15
120	140	8	28	23	53	46	86	76	119	
140	160	8	28	23	58	51	96	86	135	
160	180	8	30	24	65	57	106	96	152	
180	200	8	35	29	75	67	121	112	168	

Примечания: 1. Для подшипников сверхлегких серий с размерами диаметров 8 и 9 *мм*, а также подшипников нестандартных, но близких к этим сериям, величина нагрузки, под которой контролируется радиальный зазор, должна равняться 2 *кГ*; для подшипников с внутренним диаметром до 100 *мм* — 5 *кГ*; свыше 100 *мм* величина нагрузок уточняется заводом-изготовителем.

2. Величина нагрузок, под которыми контролируется зазор, действует попеременно в обе стороны.

3. Радиальные зазоры по рядам 0, 1, 2, 3 и 4 приведены в нормали Н 30-53 и применяются в особо необходимых случаях.

На шкале II нанесены отклонения диаметра шариков. Для определения размера отклонения комплектных шариков, если известны номера групп, к которым относятся кольца, необходимо соединить номера этих групп прямой. На пересечении прямой со шкалой II будет лежать искомый размер отклонения для группы шариков.

Пример подборки по номограмме. Найти отклонения от номинала диаметра шариков для сборки подшипника, у которого наружные кольца имеют отклонение от номинала от +8 до +12 *мк* (36-я группа), а внутренние от —24 до —28 *мк* (18-я группа).

Соединяя прямой линией соответствующие точки на шкалах I и III, находим на шкале II отклонения от номинального размера шариков в пределах от +12 до +13 *мк* (с округлением до 1 *мк*).

Таким же образом можно найти любую величину отклонений комплектной детали на одной из шкал, если данные по двум другим будут известны.

Радиальные зазоры в шарикоподшипниках. Величины радиальных зазоров в шарикоподшипниках и величина нагрузки, под которой должен контролироваться радиальный зазор, определяемые отраслевой нормалью ОН2-57, приведены в табл. 11.

По этой таблице производится контроль радиальных зазоров собранных подшипников. Для расчетов же комплектных деталей подобранных подшипников служит таблица рекомендуемых радиальных зазоров, в основу которой положены расчетные радиальные зазоры с некоторым ужесточением. Это обусловливается необходимостью компенсации

12. Рекомендуемые радиальные зазоры для подборки однорядных радиальных шарикоподшипников (по отраслевой нормали ОН 2-57)

Внутренние диаметры подшипников в *мм*		Дополнительный ряд		Основной ряд		Дополнительные ряды			
		6-й		—		7-й		8-й	
		в *мк*							
Свыше	До	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.	Наим.	Наиб.
2,5	10	0	6	4	11	10	20	—	—
10	18	0	8	5	15	13	23	20	30
18	24	0	9	7	17	15	25	23	33
24	30	0	10	8	18	15	25	25	38
30	40	0	10	8	18	18	30	30	43
40	50	0	10	8	20	20	33	33	48
50	65	3	13	10	25	25	41	41	58
65	80	3	13	13	28	28	48	48	69
80	100	3	15	15	33	33	56	56	81
100	120	3	18	18	38	38	63	63	94
120	140	3	20	20	46	46	76	76	109
140	160	3	20	20	51	51	86	86	124
160	180	3	23	23	58	58	97	97	140
180	200	3	28	28	69	69	112	112	157

Примечание. Радиальный зазор, измеряемый под нагрузкой, определяется по формулам:

$$e_2 = e_0 + \frac{0{,}019}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}};\quad e_5 = e_0 + \frac{0{,}034}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}};\quad e_{10} = e_0 + \frac{0{,}055}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}};\quad e_{15} = e_0 + \frac{0{,}071}{\sqrt[3]{z^2 d_ш}},$$

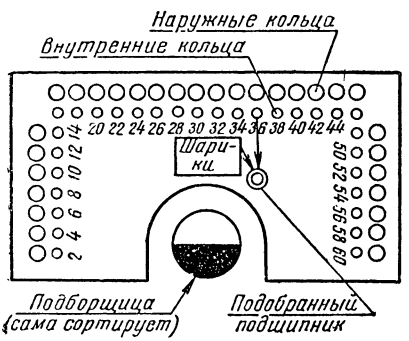
где e_0 — начальный радиальный зазор расчетный;
e_2 — начальный радиальный зазор при нагрузке ± 2 *кГ*;
e_5 — то же при нагрузке ± 5 *кГ*;
e_{10} — то же при нагрузке ± 10 *кГ*;
e_{15} — то же при нагрузке ± 15 *кГ*;
z — число шариков в подшипнике;
$d_ш$ — диаметр шарика в *мм*.

погрешностей измерения при подборке подшипников. Рекомендуемые радиальные зазоры приведены в табл. 12.

Методы организации подборки шариковых радиальных подшипников

Существуют следующие организационные методы подборки.

1. Подборка, не расчлененная на операции, когда один и тот же рабочий на одном столе и сортирует и подбирает кольца (фиг. 11). Цифры, проставленные у стопок колец, означают порядковые



Фиг. 11. Схема подборки колец без расчленения на операции. Цифры у групп колец показывают порядковые номера групп, соответствующие отклонениям размеров желобов колец от номинального размера.

номера групп, соответствующие отклонениям диаметра желоба этих колец от номинала.

Этот вид подборки более эффективен для мелких партий подшипников.

2. Подборка с расчленением на операции — производится на двух столах бригадой. Двое рабочих сортируют одновременно наружные и внутренние кольца, а третий производит подборку колец (фиг. 12).

Производительность ручной сборки подшипников повышается при размещении операций сборки подшипников вдоль движущейся ленты конвейера. При этом столы сортировщиц и подборщиц размещают в начале конвейера, на который кладутся подобранные подшипники для транспортировки их на следующие операции.

Схема этого процесса показана на фиг. 13.

Наиболее производительно подборка осуществляется тогда, когда подборщица, перемещаясь между столами сортировщиц, производит подборку на подвижном столике, и подобранные подшипники укладывает на конвейер (фиг. 14), движущийся в непосредственной близости от нее. В этом случае следует обеспечить, чтобы порядковые номера групп наружных и внутренних колец располагались в одном направлении и друг против друга.

Удобно вести подборку подшипников, когда наружные и внутренние кольца располагают группами на двух параллельных столах, при этом один из столов имеет продольное перемещение. Сигналом для искомого положения подвижного стола относительно неподвижного является величина отклонения подбираемых шариков. Выбранное положение позволяет произвести сборку с данными шариками всех противолежащих групп наружных и внутренних колец.

Этот метод, проверенный на Харьковском подшипниковом заводе, может лечь в основу при конструировании автомата для подборки подшипников.

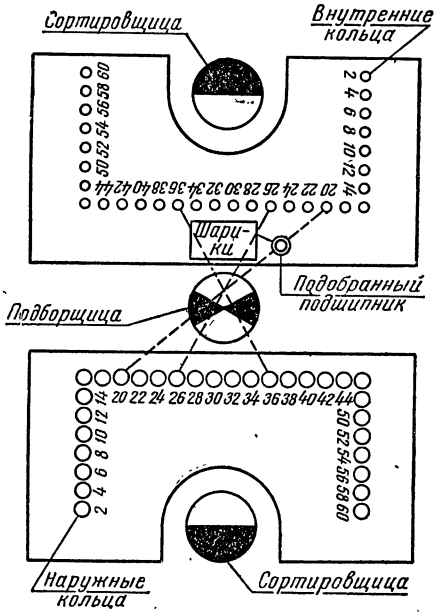
При подборке большинства типоразмеров радиальных шарикоподшипников (в зависимости от угла заполнения) между кольцами вводится не полный комплект шариков, а на одну штуку меньше.

Это делается с целью упрощения подборки, так как последний шарик вводится под усилием.

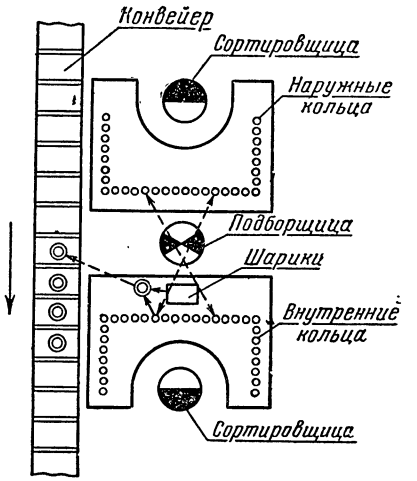
Обычно шарики отсчитываются и засыпаются подборщицами вручную, но существует специальное приспособление (фиг. 15), с помощью которого производится отсчет необходимого числа шариков и засыпка их в подшипник при нажиме на специальную задвижку. Приспособление можно переналаживать на выдачу шариков различных диаметров и число одновременно выдаваемых шариков.

Предварительно собранный подшипник перед вставлением в него последнего шарика контролируется на радиальный зазор.

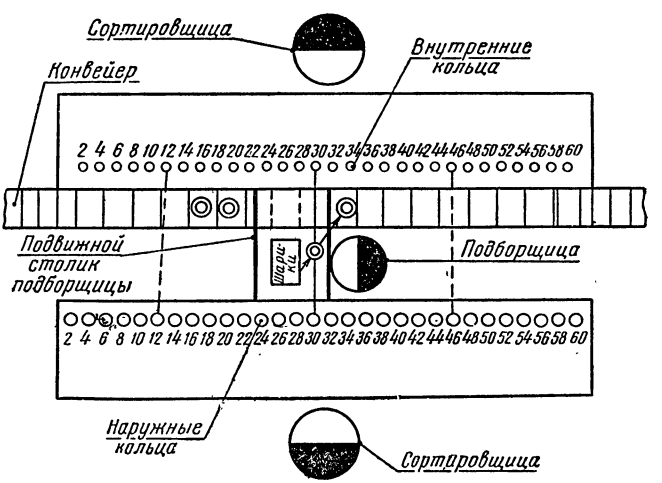
Иногда контролируется и осевая игра подшипника, величина которой пропорциональна радиальному зазору.



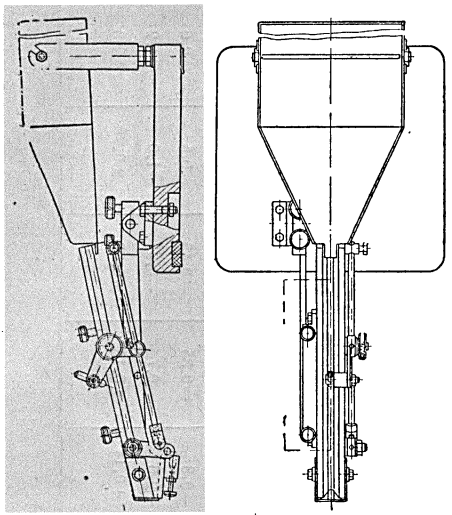
Фиг. 12. Схема подборки с расчленением на операции.



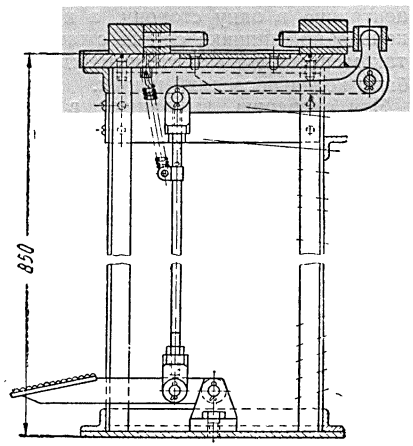
Фиг. 13. Схема расположения рабочих мест вдоль конвейера.



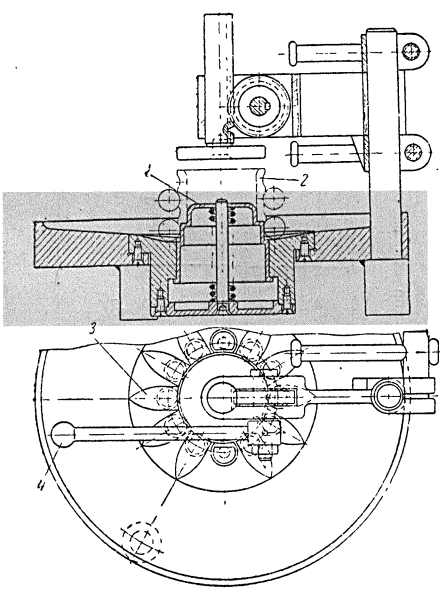
Фиг. 14. Схема механизации труда на подборке путем применения подвижного столика и конвейера.



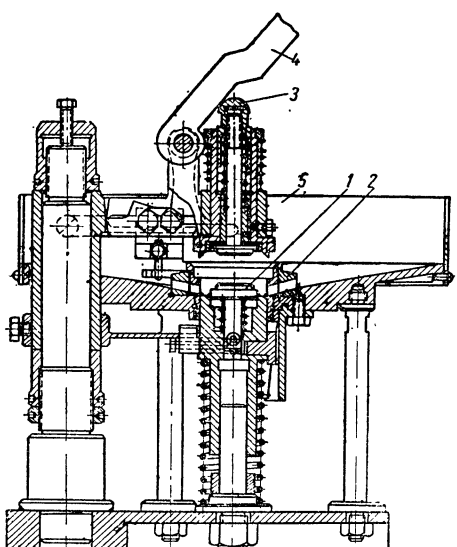
Фиг. 15. Приспособление для отсчета комплекта шариков.



Фиг. 16. Приспособление для вставления последних шариков при сборке.



Фиг. 17. Приспособление для сборки двухрядных шариковых подшипников с коробчатым сепаратором: *1* — плавающая оправка; *2* — кольцо; *3* — направляющие пазы для шариков; *4* — рукоятка для опускания кольца.



Фиг. 18. Приспособление для одновременной вставки всех шариков в лепестковый сепаратор: *1* — грибок-ловитель сепаратора; *2* — распределитель шариков; *3* — прижим; *4* — рычаг; *5* — кожух для шариков.

Вставка последнего шарика

Для вкладывания последнего шарика следует внутреннее кольцо сместить эксцентрично в одну сторону, а наружное кольцо подшипника слегка сжать и в таком положении завести между желобами колец последний шарик.

Эту операцию выполняют в приспособлении (фиг. 16), применяемом для подшипников диаметром до 150 *мм*.

Для более крупных подшипников применяют пневматические приспособления.

При подборке радиальных сферических шарикоподшипников шарики предварительно вставляют в сепаратор на внутреннем кольце. Эта трудоемкая операция механизирована.

Приспособление (фиг. 17) позволяет вставлять шарики в коробчатый сепаратор одновременно в два ряда [1]. После установки внутреннего кольца с сепаратором в приспособление и нажима на рукоятку происходит вставление шариков в нижний ряд, а при движении кольца с сепаратором еще ниже — и в верхний ряд.

Средняя производительность при работе на этом приспособлении составляет 400 подшипников в час.

Для тех же подшипников с лепестковым сепаратором применяют приспособление, показанное на фиг. 18.

Внутреннее кольцо подшипника с сепаратором ставится на грибок-ловитель сепаратора, и при нажатии на рукоятку шарики, находящиеся в пазах матрицы, входят в гнезда сепаратора. Средняя производительность при работе на приспособлении 300 — 350 подшипников в час.

Подборка упорных шарикоподшипников

Упорные шарикоподшипники подбирают по монтажной высоте, которая должна быть выдержана в пределах, указанных в табл. 13 или в особых ТУ.

При подборке упорных подшипников сепаратор коробчатого типа или массивный предварительно заполняют шариками и завальцовывают его, затем комплектуют подшипники по высоте.

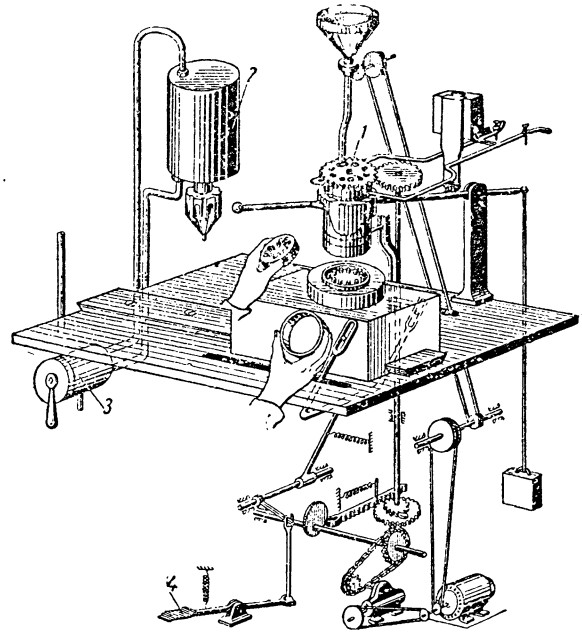
Подборка роликоподшипников

В сборке стандартных конических роликоподшипников нормального класса

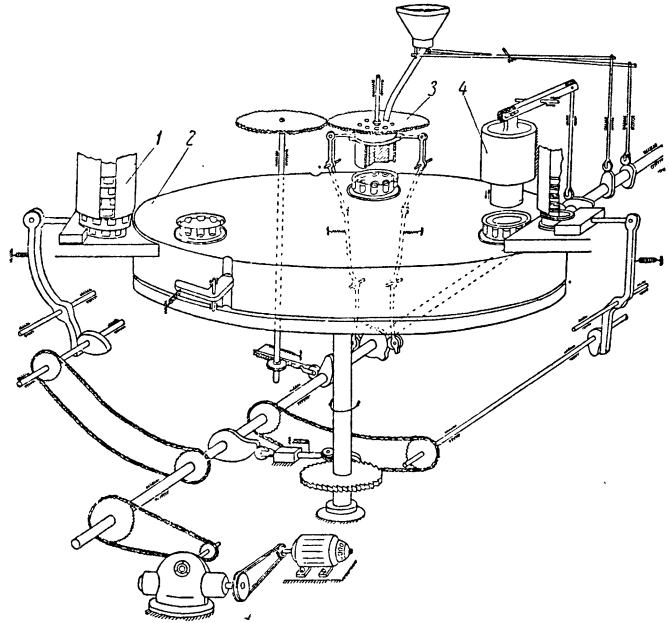
[1] Конструкции Н. П. Лубенцова.

13. Предельно-допустимые отклонения для упорных шарикоподшипников в *мм*

Отклонения от номинальных размеров	Номинальные диаметры отверстий колец							
	До 30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—250	250—315	315—400
По высоте:								
а) одинарных подшипников	—0,15	—0,2	—0,25	—0,3	—0,35	—0,45	—0,5	—0,6
б) двойных подшипников	—0,3	—0,4	—0,5	—0,6	—0,7	—0,9	—1,0	—1,2
По толщине колец, измеряемой от дна желоба .	±0,08	±0,1	±0,12	±0,14	±0,18	±0,22	±0,26	±0,3



Фиг. 19. Схема полуавтоматического приспособления для сборки радиальных роликовых подшипников 42215 и 42315: *1* — позиция вставления и распределения роликов; *2* — загибка усиков; *3* — вентиль; *4* — педаль перемещения собираемого подшипника на вторую позицию



Фиг. 20. Схема автомата для сборки роликового подшипника 2206: *1* — магазин для сепараторов; *2* — револьверный стол; *3* — вставление роликов в сепаратор; *4* — установка внутреннего кольца.

точности подборка отсутствует. Исключение составляют подшипники с ужесточенными требованиями к монтажной высоте (7209 и др.). Сепараторы этих подшипников заполняют роликами, комплектными по размеру диаметра с внутренними кольцами, и каждый подобранный подшипник проверяется по монтажной высоте на приборе до его обжимки.

Для вставления роликов в сепараторы в процессе подборки радиальных роликовых подшипников группы 42215 и 42315 (наружное кольцо с двумя бортами, внутреннее — с одним) применяют полуавтоматическое приспособление (фиг. 19), которое автоматически отсчитывает комплект роликов и распределяет ролики по окнам сепаратора. После этого вручную надевается наружное кольцо, и производится загибка усиков у сепараторов. Затем в собираемый подшипник вводится внутреннее кольцо.

По сравнению с ручным процессом подборки и сборки это приспособление сокращает время на выполнение операции в 2 раза.

Для подборки подшипников группы 2206 применяют автомат, показанный на фиг. 20.

На стол автомата в первой позиции ставится сепаратор, который во второй позиции заполняется комплектом роликов, а втретьей в него вводится внутреннее кольцо подшипника.

Этот автомат в 2 раза сокращает время на подборку подшипников такого типа.

После соединения роликов в сепараторе с внутренним кольцом производится контроль радиального зазора собранного блока на приборе.

Цикл подборки применяется также и при сборке двухколечных игольчатых подшипников. При этом после заполнения наружного кольца иглами производится контроль радиального зазора подшипника. Игольчатые подшипники с одним кольцом цикла подборки не проходят.

Цикл подборки роликоподшипников сферических двухрядных аналогичен циклу подборки шарикоподшипников радиальных сферических, за исключением окончательной сортировки колец, которая при подборке сферических роликоподшипников не производится.

Вместо сортировки, ввиду большей массивности колец и более крупных габаритов бочкообразных подшипников, при промере колец (в порядке предварительной сортировки) на торце кольца клеймят отклонение кольца по размеру дорожки качения. В окончательно собранном подшипнике клеймо уничтожается.

Этот способ — клеймения вместо сортировки — применяется в отношении колец всех мелкосерийных подшипников крупных габаритов.

СБОРКА ПОДШИПНИКОВ

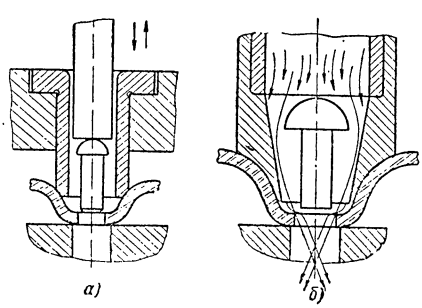
Цикл сборки подшипников (собираемых методом селективной сборки) включает в себя окончательное скрепление подшипника сепаратором, а также операции вставления шайб, втулок, надевания кожуха и т. п.

В сферических шарико- и роликоподшипниках и в шарикоподшипниках двухрядных серии 56 000 цикл сборки совпадает с циклом подборки, так как все крепление сепаратора заключается во вставлении недостающих 4—8 шариков или роликов.

Сборка радиальных шарикоподшипников начинается с подготовки сепараторов, которые должны быть промыты, и в них должны быть вставлены заклепки.

Вставка заклепок

Вставка заклепок в змейковые полусепараторы осуществляется в специальных приспособлениях или полуавтома-



Фиг. 21. Схема вставления заклепок в змейковые полусепараторы: *а* — механическое вставление заклепок; *б* — вставление сжатым воздухом.

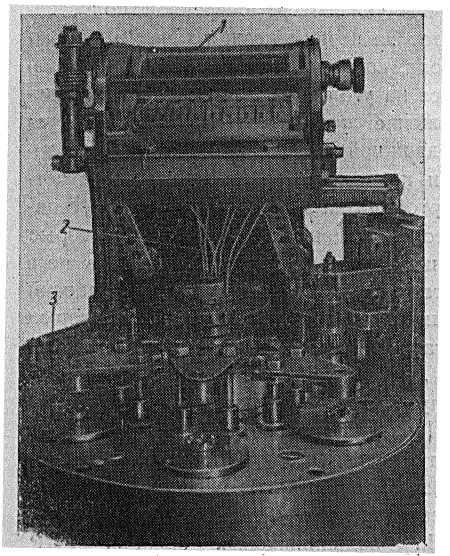
тах. На фиг. 21 приведены схемы работы таких приспособлений.

В приспособлении с пневматической вставкой заклепок полусепаратор укладывается на специальный поддерживающий столик, а сверху из бункера по трубочкам к его отверстиям подаются правильно ориентированные (головкой вверх) заклепки. За счет разрежения воздуха заклепки засасываются и входят в отверстия полусепаратора. Время вставки комплекта заклепок в один полусепаратор составляет 5—8 сек. Переналадка приспособления с одного размера заклепок и сепараторов на другие не производится.

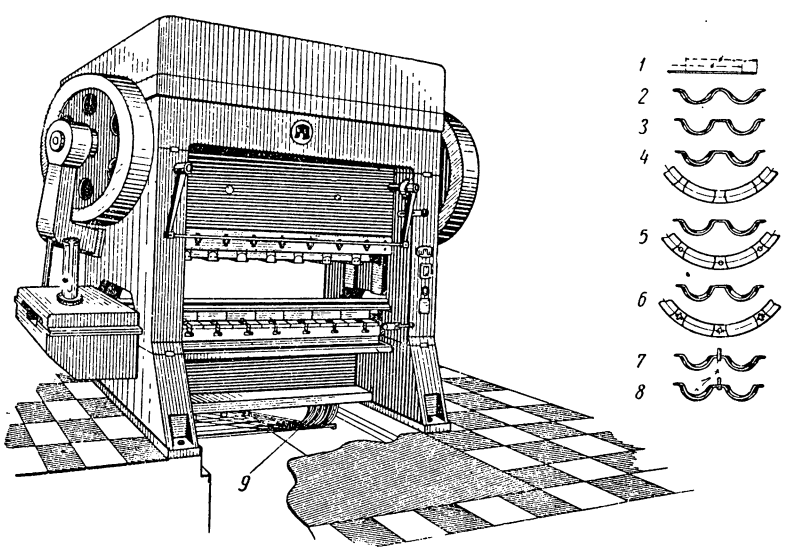
При применении приспособления этого типа необходимо тщательно сортировать заклепки, а в отверстиях полусепараторов не должно быть заусенцев.

При механической вставке заклепок нет необходимости в тщательном отборе заклепок и полусепараторов, однако стоимость изготовления полуавтомата, основанного на этом принципе, в 5—6 раз дороже, чем более простого пневматического приспособления.

На фиг. 22 приведен общий вид полуавтомата для вставления заклепок. Ра-



Фиг. 22. Общий вид полуавтомата для вставления заклепок в змейковые полусепараторы: *1* — бункер для заклепок; *2* — направляющие трубочки; *3* — револьверный стол.



Фиг. 23. Многопозиционный пресс для одновременного изготовления сепараторов и заклепок со вставлением их в полусепаратор: *1* — подача шайбы в первую позицию из магазина; *2* — предварительная гибка; *3* — оформление площадок; *4* — калибровка гнезд; *5* — пробивка отверстий; *6* — зенкерование отверстий; *7* — вставление проволоки и отрезка ее в размер заклепок; *8* — оформление головок заклепок; *9* — направляющие трубки для проволоки.

бочий укладывает очередной полусепаратор на первую позицию револьверного стола, который периодически повертывается на угол 60°. На второй позиции положение полусепаратора фиксируется подвижной матрицей, на третьей позиции полусепаратор зажимается, в четвертой позиции к отверстиям полусепаратора подаются заклепки, которые в пятой позиции принудительно в него вставляются. С шестой позиции рабочий снимает правой рукой полусепаратор со вставленными заклепками и одновременно левой рукой укладывает очередной полусепаратор на револьверный стол.

Производительность этого полуавтомата составляет 500 полусепараторов в час. Полуавтоматы рассчитаны на полусепараторы определенного размера.

На подшипниковых заводах ГДР применяют приспособление для одношпиндельного пресса, в котором изготовление заклепки совмещается с процессом ее вставления в полусепаратор. При оформлении головки стержень заклепки несколько расширяется в отверстии полусепаратора и плотно соединяется с ним.

Такая заклепка прочно держится в отверстии и не выпадает из него при случайном падении полусепараторов.

В ГДР ведутся работы по усовершенствованию этого метода на многопозиционном прессе (фиг. 23), на котором будут совмещены операции штамповки сепараторов с одновременным изготовлением и вставлением заклепок.

Расчетная производительность такого пресса составит 30—40 полусепараторов в минуту. Заклепки будут изготовляться из бунтов проволоки.

Ведутся работы и в СССР в направлении полного отказа от заклепок с заменой их контактной сваркой для соединения половинок полусепараторов.

Распределение шариков, скрепление сепараторов в подшипниках, закладывание и крепление шайб

Перед тем как наложить сепаратор, шарики, уже находящиеся в дорожках качения между кольцами, следует распределить на равные расстояния. Такое распределение или разгонку шариков производят в приспособлении, показанном на фиг. 24.

Подшипник со вставленными шариками устанавливается на разгонку, зубцы которой разгоняют шарики на равном расстоянии по желобам колец.

Расклепку головок заклепок у радиальных однорядных шарикоподшипников производят на обычных эксцентриковых или кривошипных прессах в подкладных штампах по типу, показанному на фиг. 25.

В некоторых случаях полусепараторы шариковых подшипников соединяют не заклепками, а простой загибкой «усиков» или отгибкой лепестков, которые специально получают на полусепараторах при их штамповке.

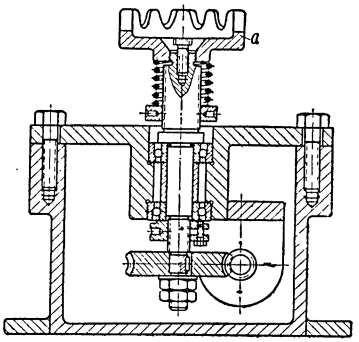
Отгибку усиков или лепестков выполняют на аналогичных прессах штампами, показанными на фиг. 26.

После клепки сепаратора или скрепления его другими методами в подшипники специальных серий закладывают шайбы, фетровые уплотнения и смазку с последующей зачеканкой, запрессовкой или завальцовкой шайб.

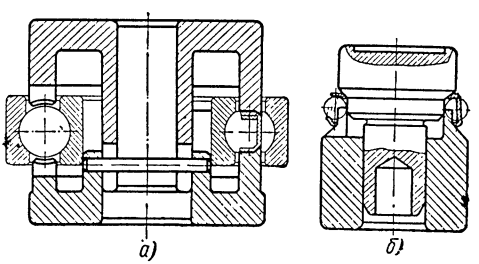
Операция запрессовки защитной шайбы может быть произведена на прессе специальным пуансоном (фиг. 27).

Хорошие результаты дает механическая развальцовка защитных шайб вращающимися роликами (фиг. 28). При работе на этом приспособлении оператор только вставляет во вращающуюся цангу подшипники со вложенными шайбами и нажимает на рычаг. При этом происходит развальцовка шайбы раздвигающимися роликами, а после нажима на педаль подшипник выбрасывается из цанги.

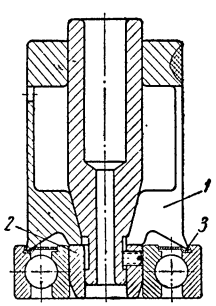
Приспособление является универсальным и очень просто переналаживается на развальцовку шайб разных размеров и под разными углами.



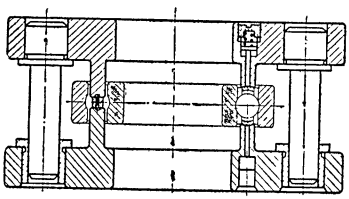
Фиг. 24. Приспособление для распределения шариков; *а* — разгонка.



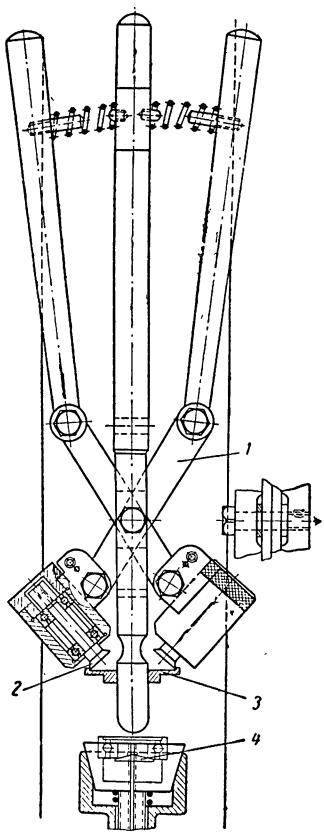
Фиг. 26. Штампы для соединения полусепараторов без заклепок: *а* — подгибка усиков; **б** — гофрирование сепараторов.



Фиг. 27. Запрессовка защитной шайбы: *1* — разрезной пружинящий пуансон; *2* — направляющая центрирующая втулка; *3* — защитная шайба.



Фиг. 25. Штамп для склепывания полусепараторов радиальных однорядных шарикоподшипников.



Фиг. 28. Схема приспособления для развальцовки защитных шайб подшипников: *1* — шарнирные державки роликов; *2* — развальцовывающие ролики; *3* — шаблон для установки роликов; *4* — выталкиватель подшипников.

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДШИПНИКОВ

Собранные подшипники перед окончательным контролем могут быть дополнительно промыты в бензине, керосине или горячем водном растворе.

У готового подшипника проверяют внешний вид, качество скрепления сепаратора, габаритные размеры, легкость вращения, радиальный зазор (в отдельных случаях), осевую игру, натяг или монтажную высоту, шумность подшипника и некоторые другие параметры.

Проверка радиального зазора

Проверку радиального зазора и шумности производят на специальных приборах и автоматах.

Специальный автомат для контроля радиального зазора группы подшипников (201—205), созданный инженером И. Н. Першиковым, проверяет радиальный зазор в шести различных сечениях подшипника и сортируют подшипники на три группы: одна — в пределах заданного зазора и две — выходящие за нижний и верхний пределы поля допуска.

При контроле подшипник надевается на оправку, и наружное кольцо сверху нагружается определенным давлением.

Положение кольца, смещенного этим давлением вниз, фиксируется измерительным прибором. Затем то же кольцо подшипника нагружается снизу вверх, и снова измеряется смещение.

Разность показаний измерительного прибора принимается за величину радиального зазора в данном сечении подшипника.

Аналогично производят замеры и в остальных пяти сечениях.

Данные замеров автоматически суммируются, находится средняя величина радиального зазора, по которой и производится разбраковка подшипников на группы.

Автоматом измеряется средний радиальный зазор в подшипниках с точностью 0,5—1 *мк*. Лоток-питатель автомата вмещает до 75 подшипников 201, что обеспечивает работу автомата в течение 30 мин.

Применение подобных автоматов наиболее выгодно в цехах, выпускающих точные подшипники разных классов с различными величинами радиальных зазоров.

Проверка шумности подшипников

Для измерения шумности подшипников целесообразно пользоваться шумомерными установками.

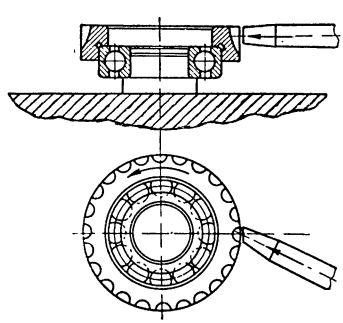
Например, фирма РИВ (Италия) применяет установку «Eidometro». Эта установка позволяет определить шум, вызываемый всеми деталями подшипника: наружным и внутренним кольцами, шариками и сепаратором. Специальные приборы со шкалой показывают величину шума той или иной детали подшипника. На таких шумомерных установках проверяются все точные подшипники. Нормальные подшипники проверяются только на слух, прибором настольного типа с наушниками.

Центральный институт подшипниковой техники в Лейпциге (ZJL, Leipzig, ГДР) разработал и внедрил на Берлинском подшипниковом заводе автомат для контроля подшипников по шумности. Этот автомат сортирует подшипники по шумности на три группы: 1) шум ниже нормы, 2) шум в норме и 3) шум выше нормы.

Для лабораторных исследований шумности подшипников применяют специальные установки, позволяющие разложить общий шум подшипника на составляющие частоты и выявить причины, создающие те или иные частоты шума.

Проверка на легкость вращения

При контроле радиально-упорных подшипников на легкость вращения фирма СКФ пользуется приспособлением, показанным на фиг. 29. Проверка производится воздушной струей. Проверяемый подшипник насаживается на вертикальную оправку, и на его наружное кольцо

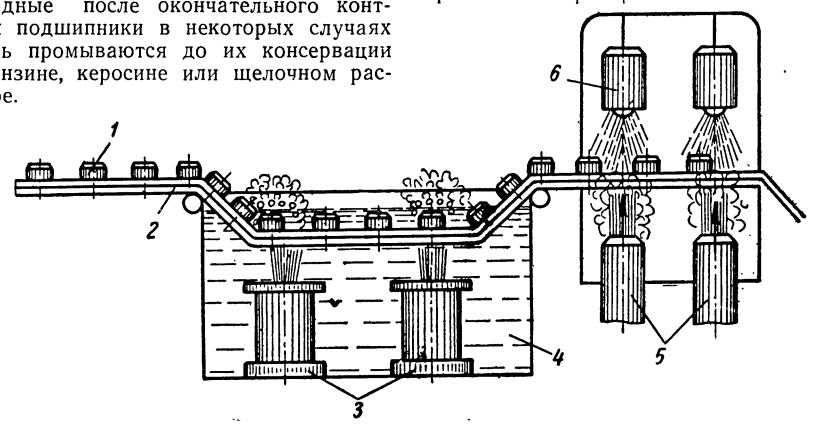


Фиг. 29. Приспособление для проверки легкости вращения радиально-упорных подшипников.

надевается диск с лопастями. Диск с кольцом приводится во вращение воздухом, сила струи которого остается всегда постоянной. Если трение в подшипнике будет больше нормального, то последний вращаться не будет.

ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ПРОМЫВКА ПОДШИПНИКОВ

Годные после окончательного контроля подшипники в некоторых случаях вновь промываются до их консервации в бензине, керосине или щелочном растворе.



Фиг. 30. Схема ультразвуковой установки для промывки подшипников: *1* — загрузка подшипников; *2* — лента конвейера; *3* — излучатели ультразвука; *4* — ванна с жидкостью; *5* — сушка воздухом; *6* — прогрев от ламп.

Промывка собранных подшипников наиболее эффективно осуществляется с помощью ультразвуковой установки.

На фиг. 30 показана принципиальная схема такой установки.

ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ И КОНТРОЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОДШИПНИКОВ

Изложенный процесс подборки и сборки относится в основном к радиальным шариковым подшипникам. Однако сборка каждой конструктивной разновидности подшипников имеет свои особенности. Некоторые из них приводятся ниже.

Радиально-упорные шарикоподшипники

Большую группу радиально-упорных шарикоподшипников составляют шпиндельные подшипники, которые собираются с текстолитовым сепаратором. Сортировка, подборка и контроль этих подшипников обычно осуществляются вручную. Сборка производится с небольшим подогревом наружных колец до температуры 100—120°.

При сборке подшипников магнетной группы со штампованным сепаратором для вставления в него шариков применяют специальные приспособления (фиг. 31).

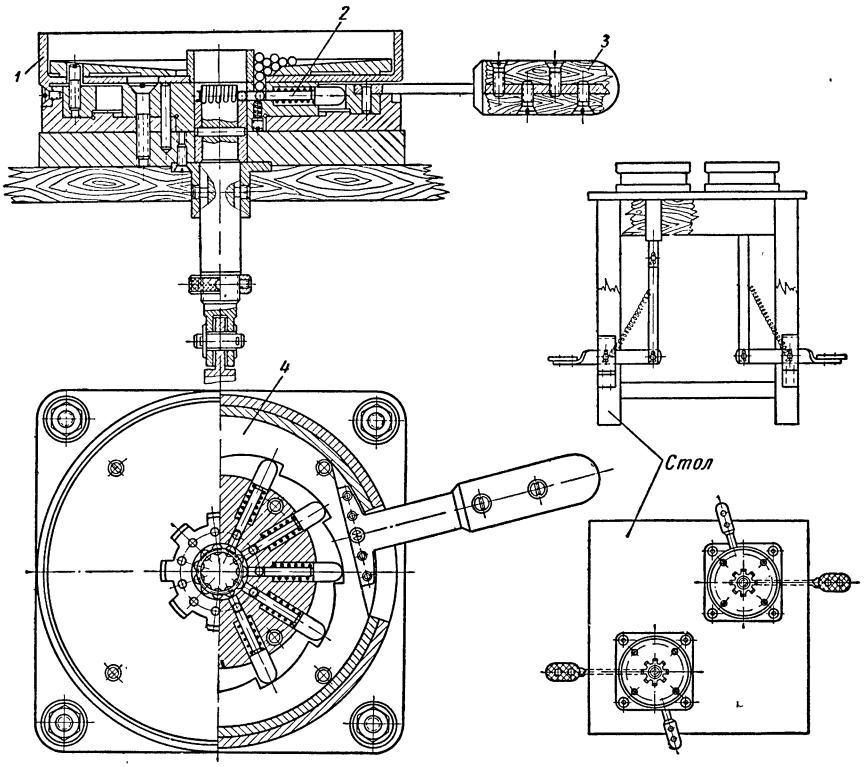
В таких приспособлениях собирают до 1000 подшипников в час.

Сборка бесколечных велосипедных подшипников сводится к вставлению шариков в сепаратор.

Эта операция механизирована и производится на полуавтоматах (фиг. 32).

Полуавтомат дозирует выдачу шариков на один подшипник, а после укладывания сепаратора на выступающие над поверхностью стола шарики — с усилием вставляет их в гнезда. После этого сепараторы со вставленными шариками сталкиваются со стола, и рабочий на освободившееся место кладет новые сепараторы для вставки в них шариков. На вставку шариков в один сепаратор затрачивается 2 сек.

Интересный контроль на шумность подшипника производит фирма Bower (США). Подшипник ставится на оправку и рычагом прижимается к вращающемуся шпинделю. В шпинделе находится эталонное наружное кольцо. Скорость вращения 500 об/мин. По вибрации, передающейся на рычаг, определяется качество сборки. Проверка на шум производится после сборки, и все ошибки последней могут быть немедленно выявлены Проверка производится в изолированном от внешнего шума помещении.



Фиг. 31. Приспособление для сборки магнетных подшипников: *1* — чаша с шариками; *2* — пуансоны; *3* — рукоятка поворота храповика; *4* — храповик.

Конические роликоподшипники

При сборке конических подшипников общего типа производится заполнение окон сепаратора роликами, вкладывание внутреннего кольца и обжатие сепаратора.

Наружные кольца конических роликоподшипников изготовляют взаимозаменяемыми.

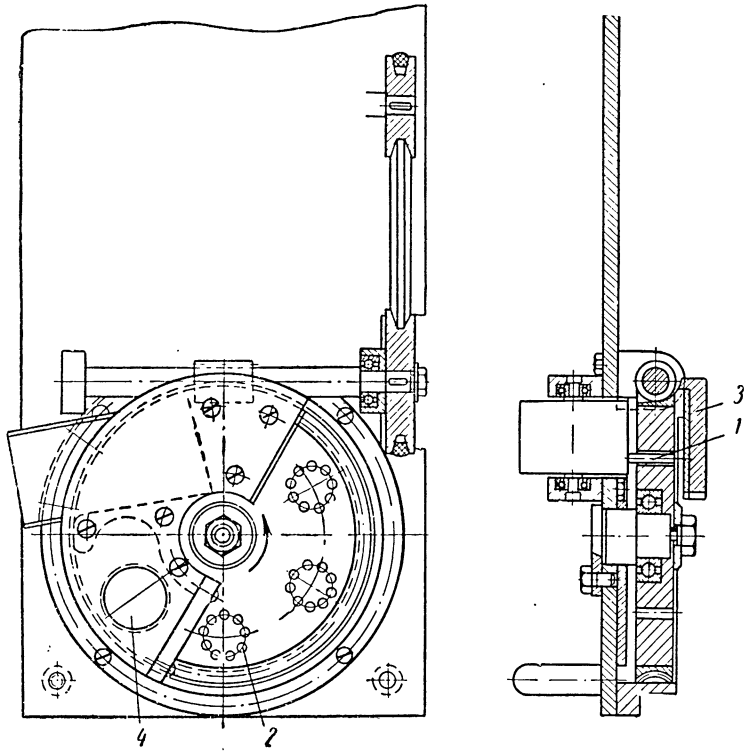
Средства механизации и автоматизации отдельных операций

Для вставления роликов в сепаратор конических роликоподшипников применяют специальный полуавтомат (фиг. 33). Рабочий вручную устанавливает сепаратор на центрирующий грибок полуавтомата, затем после заполнения окон сепаратора роликами вкладывает в него внутреннее кольцо, и собранный таким образом блок передает на обжатие.

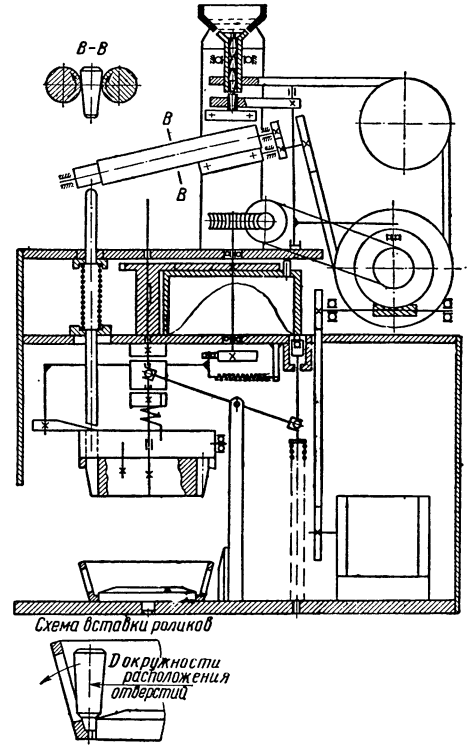
Производительность полуавтомата составляет около 450 подшипников в час.

Чтобы закрепить сепаратор на внутреннем кольце, при обжатии собранного блока ребра сепаратора слегка поджимаются к центру. Обжатый собранный блок контролируется без наружного кольца.

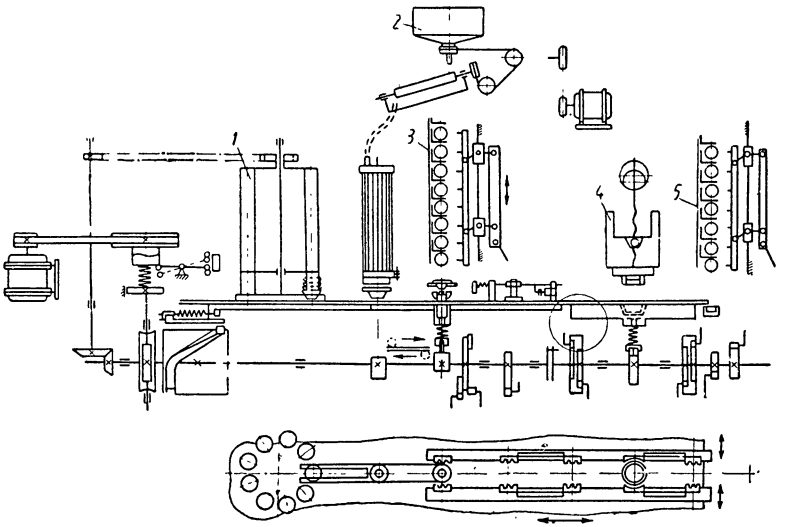
На фиг. 34 приведена кинематическая схема сборочного автомата, который собирает по 400—500 конических подшипников в час и может быть переналажен в течение двух часов на сборку подшипников другого размера.



Фиг. 32. Полуавтомат для сборки велоподшипников: *1* — стол; *2* — пуансоны-выталкиватели; *3* — верхний упор; *4* — место установки бункера.



Фиг. 33. Кинематическая схема полуавтомата для заполнения роликами сепараторов конических роликоподшипников



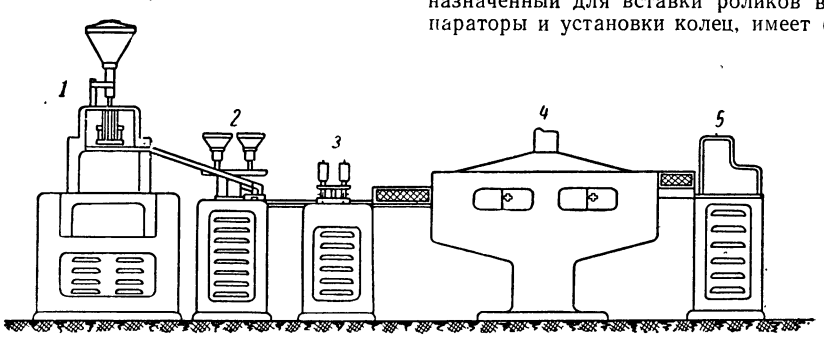
Фиг. 34. Кинематическая схема агрегата для сборки конических подшипников; *1* — магазин для сепараторов, *2* — бункер с роликами; *3* — установка внутреннего кольца; *4* — контроль; *5* — опускание наружного кольца.

Автомат без участия рабочего устанавливает на транспортное устройство сепаратор, заполняет сепаратор роликами, вкладывает в него внутреннее кольцо и производит обжимку сепаратора. После этого проверяется точность и качество сборки, надевается на подшипник наружное кольцо, и готовое изделие выходит из агрегата. Транспортировка деталей осуществляется непрерывно-движущимся конвейером.

Игольчатые подшипники (веретенные, карданные)

Сборка веретенных подшипников производится на автоматической линии из пяти автоматов (фиг. 35), соединенных между собой лотками и ленточными транспортерами, передающими собираемые подшипники по операциям.

Первый автомат линии (фиг. 36), предназначенный для вставки роликов в сепараторы и установки колец, имеет бун-



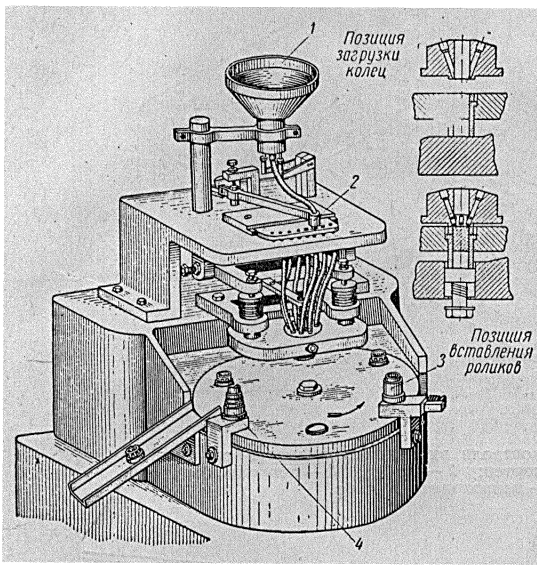
Фиг. 35. Схема автоматической линии для сборки веретенных подшипников: *1* — вставка роликов в сепаратор и надевание наружного кольца; *2* — укладка шайб с ориентацией по торцам; *3* — контроль отверстия между роликами проходным и непроходным калибрами; *4* — агрегат консервации собранных подшипников; *5* — укладка третьей упорной шайбы, завертывание подшипников в бумагу и подсчет собранных подшипников.

кер для роликов и магазины для наружных колец и сепараторов. Работа всех механизмов происходит от общего распределительного вала.

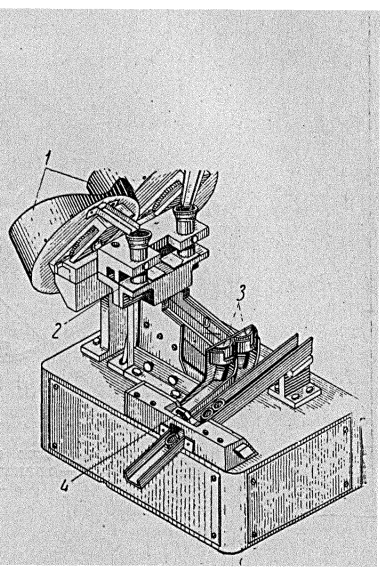
Второй автомат — для укладки верхней и нижней шайб (фиг. 37) имеет два бункера с шайбами, загруженными навалом, и устройство для их ориентировки.

бы и упаковки в бумагу. Производительность линии — 25 подшипников в минуту. Количество обслуживающего персонала на линии — 2 человека.

Для заполнения иглами колец карданных подшипников создан специальный автомат (фиг. 41). На этом автомате кольцо подается из лотка в загрузочную позицию, и в него вводится комплект



Фиг. 36. Автомат для установки наружных колец и вставления роликов в сепараторы: *1* — бункер для роликов; *2* — распределитель роликов; *3* — магазин с сепараторами; *4* — магазин для колец.



Фиг. 37. Автомат для ориентации и укладки шайб: *1* — бункеры для шайб; *2* — отсекатель; *3* — ориентирующее устройство для шайб; *4* — укладчик шайб.

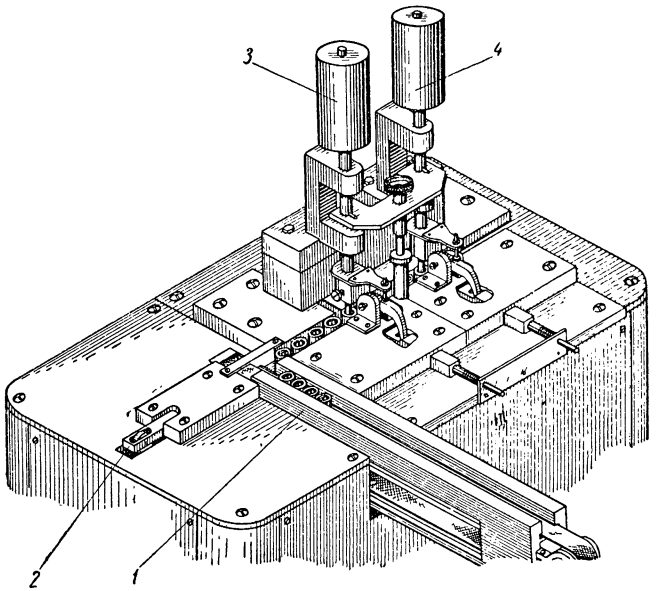
Третий автомат — контрольный (фиг. 38) — осуществляет сортировку подшипников на три группы: годные, тугие и слабые. Измерение производится гладкими, цилиндрическими калибрами — проходным и непроходным.

Подшипники, прошедшие контроль, передаются транспортером на агрегат (фиг. 39) для промывания и консервации подшипников. Этот агрегат состоит из четырех ванн, смонтированных в общем кожухе. Нагреватели смонтированы под ваннами. Подшипники последовательно промывают и консервируют в этих ваннах с необходимой выдержкой по времени в каждой. Из последней ванны подшипник попадает на цепной конвейер и подается к пятому автомату (фиг. 40) для укладки третьей шайб.

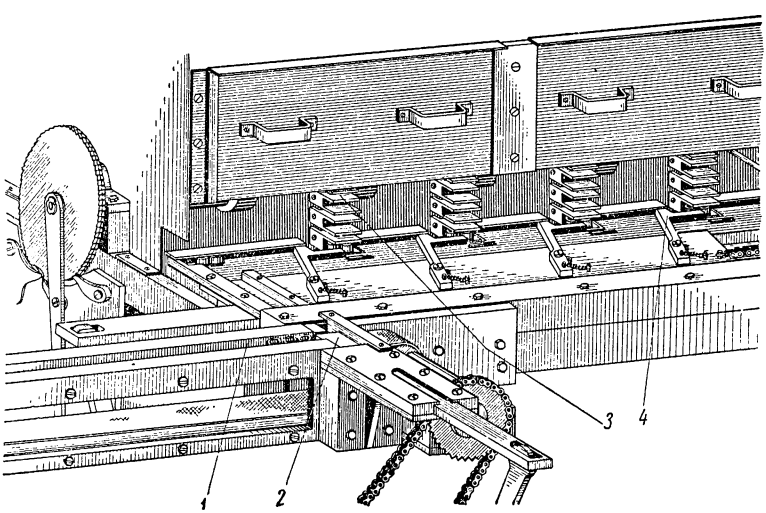
игл, подаваемых по трубочкам из бункера. Производительность автомата — 45 подшипников в минуту, что в 14—15 раз выше производительности ручной сборки.

Полная сборка карданных (игольчатых) подшипников выполняется на специальной сборочной машине, имеющей четыре вращающихся бункера, из которых два — для роликов и по одному — для колец и резиновых колпачков — уплотнений. Для сокращения цикла сборки машина имеет две сборочные позиции, которые работают попеременно.

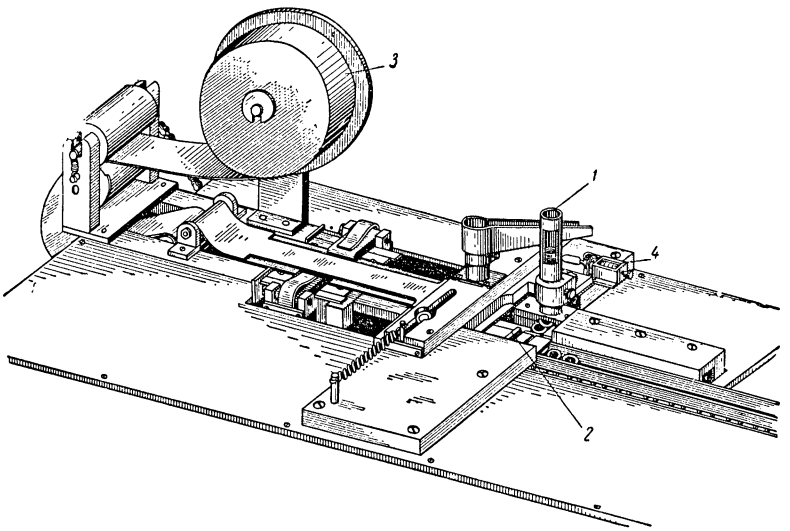
Кольцо при подаче из бункера автоматически ориентируется, затем в него подается доза смазки и поступает комплект игл, который закрывается колпачком.



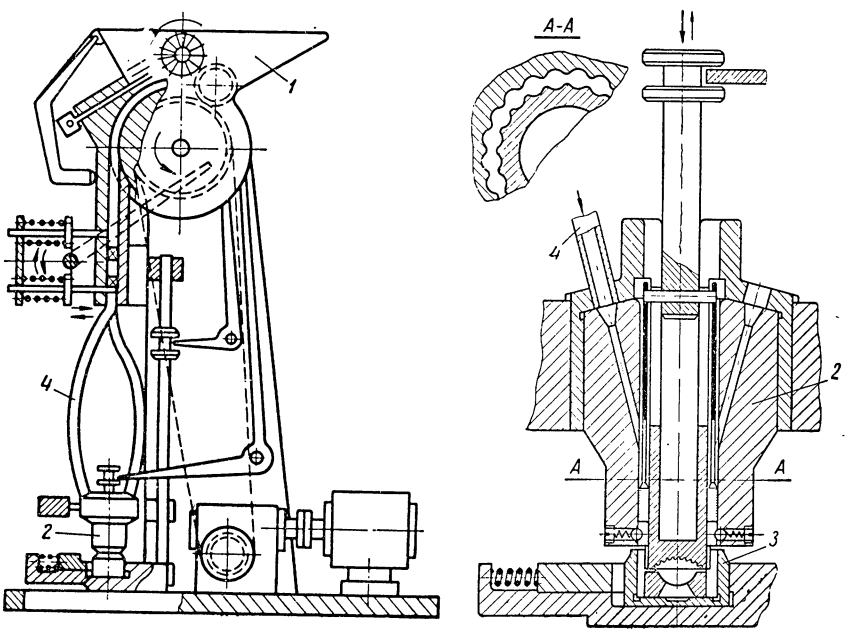
Фиг. 38. Автомат для контроля внутреннего диаметра собираемого подшипника: *1* — транспортер; *2* — шибер; *3* — проходной калибр: *4* — непроходной калибр.



Фиг. 39. Агрегат для промывания и консервации подшипников: *1* — подающий транспортер; *2* — шибер; *3* — карманчики диска первой ванны; *4* — рычаг-толкатель для передачи подшипников между дисками.



Фиг. 40. Автомат для укладки третьей шайбы и завертывания подшипника в бумагу: *1* — магазин для шайб; *2* — шибер подачи шайб; *3* — рулон с бумагой; *4* — счетчик числа выпущенных изделий.



Фиг. 41. Схема автомата для набора игл в кольца карданных подшипников: *1* — бункер-распределитель игл; *2* — головка автомата; *3* — кольцо подшипника, заполняемого иглами; *4* — подводящая трубка.

Приборные подшипники

При сборке приборных подшипников необходима исключительная чистота помещения и воздуха и постоянство температуры. Для этого на подшипниковых заводах СССР окончательные операции обработки деталей приборных подшипников и их сборка производятся в совершенно закрытых, изолированных помещениях, в которых поддерживается температура +18—+20°. Детали подшипников перед сборкой и в процессе сборки неоднократно и тщательно промываются в том числе и ультразвуковыми методами.

Опыт заграничных фирм, в частности фирмы БМБ (Англия), показывает, что для предотвращения загрязнения деталей необходимо соблюдать особые предосторожности. Так, сортировку и комплектование деталей, а также сборку подшипников на заводе этой фирмы производят в помещениях с кондиционированным воздухом. Бо́льшая часть работ производится, кроме того, в кабинах с повышенным давлением воздуха, используемым в качестве дополнительной защиты от загрязнения. По этой же причине ни к одной из деталей подшипников не притрагиваются голой рукой, так как тепло и влага от рук могут вызвать изменение размеров и коррозию. Потому все операторы цеха обязаны работать в перчатках.

Окончательную сортировку и комплектование деталей производят на конвейере. Часть этого конвейера, где производится измерение радиусов дорожек качения внутренних и наружных колец с помощью компараторов, показана на фиг. 42.

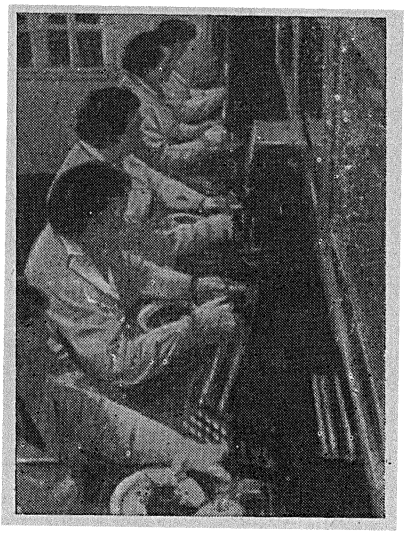
После измерения желобов кольца помещают на сортировочные доски и окончательно комплектуют в конце конвейера.

Скомплектованные внутренние и наружные кольца переносятся в сборочные кабины.

Оператор работает у кабины, просунув руки через небольшое отверстие в передней ее части, которое не затрудняет свободу его движений.

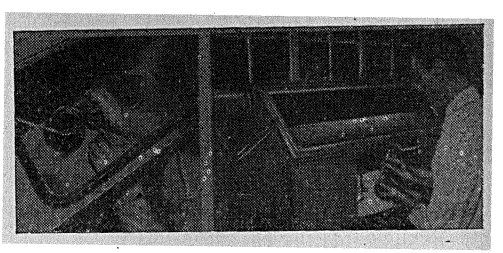
Стеклянное окно кабины обеспечивает рабочему видимость.

На фиг. 43 показана сборка радиального подшипника с полным заполнением в такой кабине. У этого подшипника нет сепаратора, и сборка осуществляется заполнением подшипника шариками через канавки. Оператор применяет специальный инструмент для захватывания шари-



Фиг. 42. Сортировка и комплектование деталей подшипников.

ков и вставления их в подшипник. Этот инструмент состоит из полой вилки, соединенной с всасывающим шлангом. Дав-



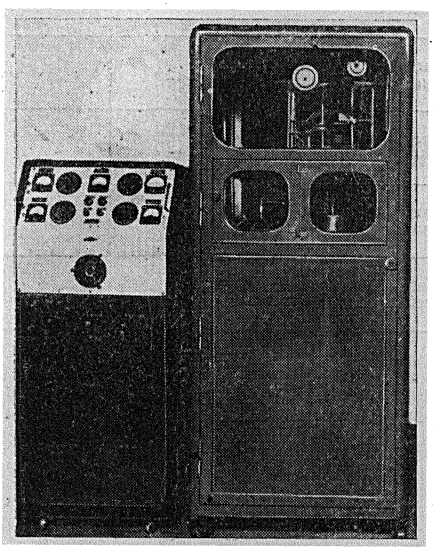
Фиг. 43. Кабина для сборки подшипников.

ление всасывания и диаметр отверстия таковы, что вилка забирает только один шарик.

В кабину подается свободный от пыли воздух, создающий давление внутри рабочего пространства, чем предотвращается проникновение в нее загрязненного воздуха. Очистка и подача возду-

ха под давлением осуществляется автоматически.

Для освещения кабины используется флуоресцентная лампа. Рабочая поверхность стола покрыта специальным материалом — формиком. Воздухоочистные агрегаты могут использоваться в качестве отдельных агрегатов или встраиваться в сборочную кабину.



Фиг. 44. Ультразвуковая установка для промывания приборных подшипников.

В задней части каждой кабины имеется люк, ведущий к таким же кабинам и на другой стороне. Через эти люки собираемые подшипники передаются из кабины в кабину для выполнения последующих операций и контроля. Тут же проводят окончательные испытания на легкость вращения, на биение и контроль отверстия. Затем еще раз все подшипники подвергают глазному контролю.

Собранные подшипники очищают и промывают ультразвуком.

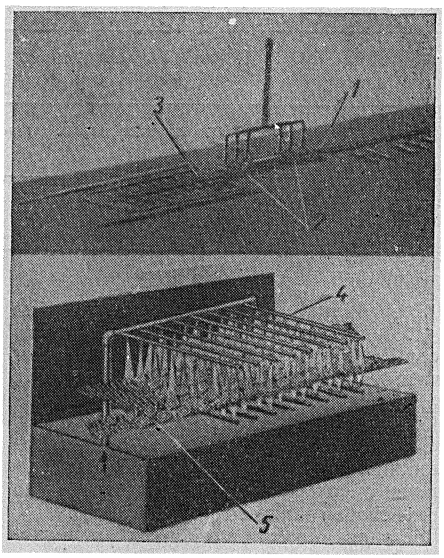
Излучатель ультразвуковой установки (фиг. 44) находится в стеклянном сосуде.

Промывание партии подшипников производится в трихлорэтилене в течение 5 мин. После промывания подшипники проходят операцию окончательного контроля на соответствие ТУ. Обычно контроль приборных подшипников проводится вручную.

КОНСЕРВАЦИЯ И УПАКОВКА ПОДШИПНИКОВ

Консервация подшипников

При консервации подшипники последовательно обрабатываются в четырех—пяти ваннах, из которых в первой находится 2%-ный мыльный раствор для обезжиривания, во второй — минеральное масло, в третьей — технический вазелин и в четвертой и в пятой — пушечная смазка. Операция консервации происходит при температурах от 50 до 120° с выдержкой подшипников в каждой ванне от 2 до 20 мин.



Фиг. 45. Схемы конвейерного агрегата для консервации подшипников и моечно-смазочной машины: *1* — конвейер сборочного отделения; *2* — моечно-смазывающие машины; *3* — конвейер упаковочного отделения; *4* — трубки подвода жидкости под давлением; *5* — лента конвейера.

Целесообразным методом механизации этой операции является применение пластинчатых транспортеров для перемещения собранных подшипников к последовательно стоящим моечным машинам.

14. Состав жидкостей, температура нагрева ванн и время выдержки подшипников в машинах для консервации

Машины	Назначение	Состав жидкости	Температура нагрева в °С	Время выдержки в мин.
Первая	Промывка подшипников, обезжиривание	1,5—2%-ный мыльный раствор	90	2
Вторая	Удаление влаги с подшипников	Масло индустриальное 12	120	2
Третья	Удаление влаги с подшипников	Масло индустриальное	120	2
Четвертая	Охлаждение перед смазкой	Пушечное сало или вазелин	60	2
Пятая	Смазка подшипников	Пушечное сало или вазелин	65	2

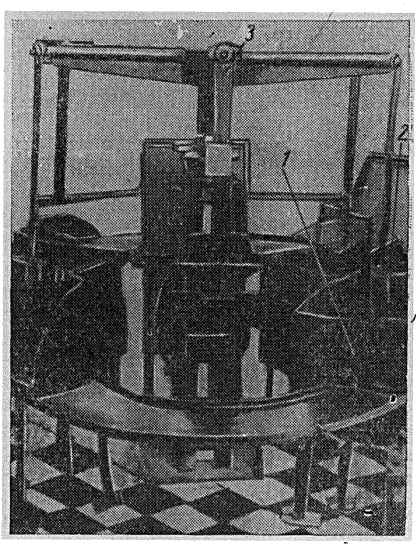
Схема такой установки показана на фиг. 45. Скорость перемещения ленты конвейера, подающего подшипники к моечным и консервирующим агрегатам, 2,5 *м/мин*. Скорость движения подшипников через моечно-смазочные машины 3 *м/мин*. Вместо окунания в ванны подшипники медленно проходят через машины, в которых они обрызгиваются со всех сторон нагретой жидкостью[1].

Установка состоит из пяти смазочно-моечных машин закрытого типа. Каждая машина имеет бак емкостью до 3 $м^3$ с электроподогревом жидкости. Температура нагрева регулируется автоматически действующей пирометрической установкой.

Состав жидкости, температура ее нагрева и время выдержки подшипников в каждой машине приведены в табл. 14.

После прохождения подшипников через агрегат для консервации они должны быть упакованы.

Для консервации мелких подшипников и их деталей могут быть применены карусельные промывочно-смазочные агрегаты (фиг. 46), наиболее удобные в условиях отсутствия необходимой площади для размещения ленточного конвейера. Однако они менее механизированы и автоматизированы, чем конвейерные, и пропускная способность их также небольшая.



Фиг. 46. Пневматический карусельный промывочно-смазочный агрегат: *1* — ванны; *2* — кассета с деталями; *3* — пневмоподъемник.

[1] Для надежной работы моечно-смазывающих машин необходимо хорошо очищать жидкость, пропуская ее через фильтр.

Упаковка подшипников

Почти по всем видам подшипников после консервации каждый отдельный подшипник завертывается в парафинированную бумагу и упаковывается в картонную коробку и деревянный ящик.

Некоторые виды небольших по размерам подшипников не завертываются в бумагу раздельно, а по 10—15 шт. вместе упаковываются в коробки. За последние годы созданы автоматы для завертывания подшипников в бумагу, которые увеличили производительность труда на этой операции в несколько раз.

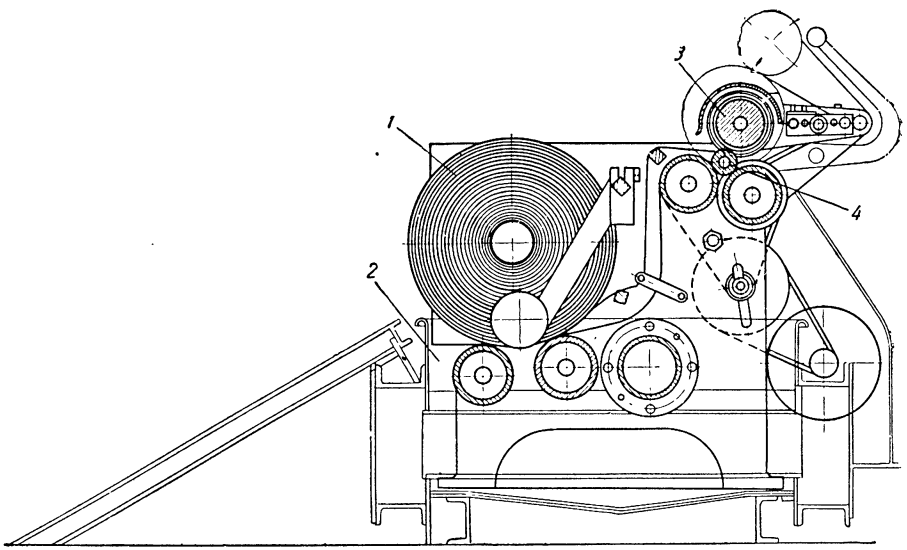
В табл. 15 показана схема работы автомата[1] для завертывания в бумагу подшипников диаметром от 30 до 62 *мм*. Этот автомат переналаживается в указанных пределах размеров подшипников и завертывает их в бумагу без участия рук человека, что очень важно для антикоррозионной защиты. Предварительно смазанные подшипники загружают в бункер, из которого они попадают на позицию завертывания, упаковываются в бумагу и в таком виде выходят на отводной желоб автомата.

Цикл работы автомата 4—5 сек.

Кроме этого автомата, работают автоматы для упаковки шарикоподшипников больших и малых размеров, а также для конических роликоподшипников. Цикл работы этих автоматов лежит в пределах 3—5 сек.

После завертывания в бумагу подшипники укладывают в картонные коробки и деревянные ящики. Работы эти выполняются пока еще вручную.

Бумага, в которую завертывают подшипники, предварительно пропитывается парафином на специальных машинах для парафинирования (фиг. 47). Машина парафинирует одновременно два полотнища, когда бумага проходит через ванну с расплавленным и нагретым парафином.



Фиг. 47. Схема машины для парафинирования и резки бумаги: *1* — рулон с бумагой; *2* — ванна с парафином; *3* — нож для резки бумаги; *4* — рулон с готовой бумагой.

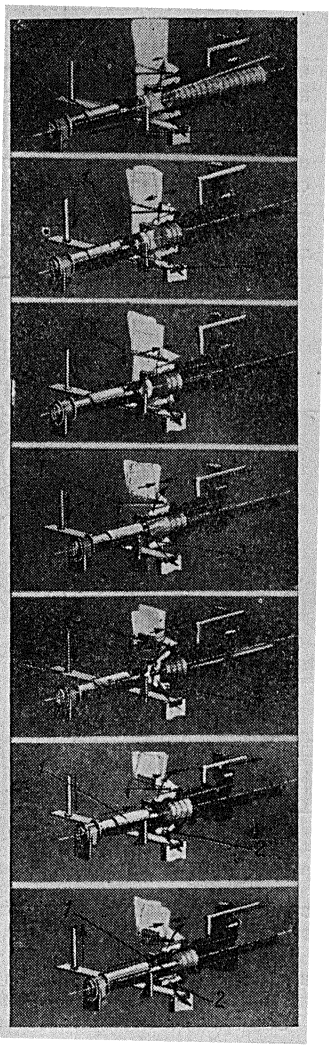
Охлажденная бумага при навертывании на приемный валок разрезается на полосы заданной ширины.

За границей начинают применяться новые методы упаковки подшипников, проходящие у нас в настоящее время опытную проверку.

К этим методам относится упаковка подшипников в хлорвиниловые трубки или полиэтиленовую пленку без смазки, с запайкой концов трубки и добавлением в нее ингибиторного порошка.

[1] Конструкция Домокурова Г. Г.

15. Схема работы автомата для завертывания подшипников

Положение механизма	Эскиз	Наименование переходов операции завертывания
I		1. Ножницы подготовлены для отрезки листа бумаги. 2. Толкатель находится в крайнем левом положении. 3. Подшипник поступил из бункера на крестовину упаковочного узла. 4. Щипцы натянули бумагу.
II		1. Толкатель прижал подшипником бумагу к станку. 2. Щипцы освободили лист бумаги.
III		1. Ножницы отрезают бумагу.
IV		1. Ножницы отрезали бумагу и отошли в исходное положение. 2. Толкатель вводит подшипник в стаканы. Подшипник обвертывается бумагой.
V		1. Щипцы поднялись вверх и захватили лист бумаги. 2. Толкатель отошел влево. 3. Кулачки сжимают бумагу в пучок.
VI		1. Толкатель идет вправо до упора в стакан и пучок бумаги входит в его коническое отверстие. 2. Кулачки, сжав бумагу в пучок, разошлись.
VII		1. Шток толкателя заталкивает пучок бумаги во внутреннее кольцо подшипника и толкатель отходит в крайнее левое положение. 2. Подшипник зажимается пластинкой.

Глава XXIII

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ПОДШИПНИКОВ И ИХ ДЕТАЛЕЙ

Подшипники и их детали, хранящиеся на промежуточных складах, должны быть защищены от коррозии в течение длительных сроков.

ПРИЧИНЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ КОРРОЗИЮ

Основными факторами, вызывающими атмосферную коррозию, являются: вода, кислоты, соли, пот рук, агрессивные газы, пыль.

Пленки воды на металлоизделии образуются благодаря конденсации паров воды из окружающего воздуха. Конденсации паров воды на металлах способствуют капилляры невидимых окисных пленок металла, капилляры в зазорах между контактирующими деталями и между осевшей пылью и поверхностью металла, а также соли, оставшиеся при технологических обработках и нанесенные с потом рук при ручных операциях.

Агрессивные газы SO_2, SO_3, H_2S, Cl_2, HCl, окислы азота и др. попадают в воздух при сжигании топлива, от химических заводов, из гальванических и травильных установок металлообрабатывающих заводов и, оседая из воздуха на поверхность металла, дают с пленкой воды кислоты, которые также увеличивают скорость коррозии. Наибольшее количество агрессивных газов в воздухе находится в промышленных центрах, поэтому скорость коррозии там в 10—15 раз больше, чем в сельской местности.

Для обеспечения сохранности готовых подшипников и их деталей от коррозии необходимо: 1) тщательно очистить поверхность металлоизделий от всех видов загрязнений, 2) изолировать поверхность защитными пленками и оболочками (летучие ингибиторы, смазка, упаковка и др.), 3) обеспечить транспортировку, исключающую попадание атмосферных осадков, 4) хранить изделия на сухих складах, не допуская больших колебаний температур, способствующих конденсации влаги.

КОНСЕРВАЦИЯ

Процесс консервации состоит из следующих операций: 1) антикоррозионная обработка; 2) внутренняя упаковка; 3) наружная упаковка.

Продолжительность сохранности от коррозии подшипников и их деталей зависит от способа консервации, от условий транспортировки и хранения.

Для всех видов подшипников и их деталей применить единый способ консервации не представляется возможным.

Разнообразие способов консервации зависит в основном от конструкции подшипников, материала, применяемого для изготовления деталей подшипников, габарита подшипника и условий хранения.

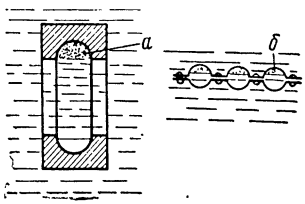
Антикоррозионная обработка

Антикоррозионная обработка включает в себя следующие операции: 1) промывку от загрязнений; 2) сушку от влаги; 3) нанесение защитных пленок или погружение в антикоррозионную жидкость.

Подшипники или их детали перед антикоррозионной обработкой должны быть проверены ОТК на отсутствие коррозии. При обнаружении коррозии они бракуются или направляются на исправление, годные подшипники немедленно подвергаются антикоррозионной обработке. Задержка в необработанном виде более 2 час. недопустима.

При промывке жидкостями подшипников или их деталей обычно применяют два способа: струевой (душевание) и погружение. При промывке погружением большое значение имеет способ подвешивания или укладки изделий в при-

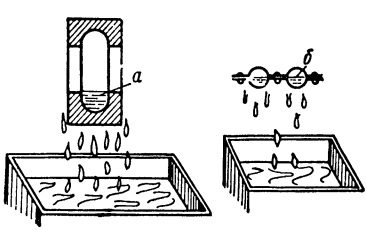
способление. Погружать изделия в жидкость надо так, чтобы все поверхности полностью омывались. При выгрузке необходимо обеспечить более полное стекание жидкости. Нельзя допускать, чтобы при загрузке в жидкость образовывались так называемые «воздушные мешки», т. е. полости, из которых жидкость не в состоянии вытеснить газы (фиг. 1).



Фиг. 1. *а* — «воздушный мешок» в кольце подшипника; *б* — «воздушный мешок» в сепараторе подшипника.

Оставшийся в воздушных мешках газ будет мешать обмывке поверхности изделия в этой зоне. Кроме того, в случаях применения для промывки горячих водных растворов, в воздушных мешках будут скопляться горячие пары воды, которые могут вызвать образование на металле окисных пленок темного или коричневого цвета.

Нельзя допускать также образования «карманов», т. е. полостей, в которых может задерживаться жидкость после выгрузки изделий из ванны (фиг. 2).



Фиг. 2. *а* — «карман» с жидкостью в кольце подшипника; *б* — «карман» с жидкостью в сепараторе подшипника.

Задержавшаяся в «карманах» жидкость после выгрузки будет переноситься в следующую ванну, загрязнять ее, давать некачественную промывку изделий и быстро выводить ее из строя.

При загрузке изделий в жидкость важно обеспечить циркуляцию жидкости по поверхности изделий, а в случаях применения горячих жидкостей обеспечить прогрев изделий.

Для циркуляции жидкости применяют ультразвуковые установки, электромешалки, насосы, вращающиеся приспособления с гнездами для изделий и др. При отсутствии их применяют кратковременное периодическое (обычно четырех-пятикратное) окунание изделий в начале промывки и в конце. Время выдержки в жидкости определяется технологией. При выгрузке из жидкости изделия выдерживают над ванной и дают полностью стечь избытку жидкости, после чего переносят в следующую ванну. Способов антикоррозионных обработок много. В подшипниковой промышленности СССР применяют следующие пять способов.

Первый способ применяют для подшипников несложной конструкции открытых типов, т. е. без шайб, кожухов и уплотнений. Детали таких подшипников могут быть из черных и цветных металлов, а также из текстолита и маслостойких пластмасс.

Антикоррозионная обработка производится в следующей последовательности:

а) первая промывка в горячем (70—80°) водном растворе олеинонатрового или калиевого мыла (17—23 *г/л*). Цель промывки: удаление солей, пота рук и других загрязнений;

б) вторая промывка в горячем (90—95°) масле индустриальное 12. Цель промывки — удаление пленки раствора мыла;

в) сушка в горячей (110—120°) смазке УН (техническом вазелине) или петролатуме. Цель сушки — удаление с поверхностей, из зазоров и капилляров остатков воды и одновременно заполнение зазоров и капилляров водооталкивающей пленкой смазки. Продолжительность каждой промывки и сушки не менее 2 мин.;

г) нанесение пленки смазки кратковременным окунанием (2—3 раза) в расплавленную при 50—70° смазку УН или петролатум.

После антикоррозионной обработки по первому способу подшипники или их детали упаковывают. Упаковка их может производится по следующим четырем методам: 1) бумага, картонные коробки, ящик; 2) бумага или алюминиевая фольга, воскообразная оболочка, картонные коробки, ящик; 3) оболочка из пластмассы, картонные коробки, ящик; 4) пробирки или банки из пласт-

массы, картонные коробки, ящик. Подробно процесс упаковок приводится ниже.

Второй способ применяют для подшипников несложной конструкции открытого типа, т. е. без шайб, кожухов и уплотнений. Детали этих подшипников должны быть изготовлены только из черных металлов.

При втором способе антикоррозионная обработка производится так же, как и при первом способе, с той лишь разницей, что во втором способе первая промывка производится в горячем (70—85°) водном растворе триэтаноламина (8—10 *Г/л*) с добавкой нитрита натрия (1,5—3 *Г/л*), а не в водном растворе мыла.

Упаковку подшипников и их деталей, прошедших антикоррозионную обработку по второму способу, производят так же, как и при первом способе обработки.

Третий способ применяют для подшипников закрытого типа (сложной конструкции) с защитными шайбами, кожухами или уплотнениями. Эти подшипники могут иметь детали как из черных, так и цветных металлов, а также текстолита, маслостойких пластмасс, войлочные.

Операции промывки и сушки таких подшипников производят обычно до вставки и запрессовки шайб, кожухов, или уплотнений (войлочных и др.), для некоторых типов — до вставки и запрессовки иголок (роликов) или шариков.

Первую промывку подшипников и их металлических деталей (шайб, кожухов) производят для удаления солей пота рук и других загрязнений в горячем (70—85°) водном растворе олеинонатрового или олеинокалиевого мыла (17—23 *Г/л*) в течение не менее 2 мин. Затем их подвергают второй промывке в горячем (90—95°) масле индустриальное 12 в течение не менее 2 мин. для удаления пленки мыльного раствора.

После двух промывок их подвергают сушке в горячем (110—120°) масле индустриальное 12 в течение 2 мин. Затем их охлаждают до комнатной температуры.

В подшипники, в которые по технологии не закладывается рабочая смазка, после сушки и охлаждения вставляют и запрессовывают шайбы, кожуха или другие детали. В некоторых типах подшипников вставка и запрессовка шариков или иголок (роликов) требует наличия густой смазки. Для этих случаев на них наносят смазку УН или петролатум кратковременным окунанием в расплавленную при 50—70° смазку. После вставки и запрессовки деталей подшипники подают на контроль в смазанном виде. Разъемные подшипники после контроля связывают мягкой металлической проволокой. Проверенные ОТК подшипники промывают в течение 1—2 мин. в горячем (95—100°) масле индустриальное 12 для удаления ранее нанесенного масла (или смазки) и пота рук, попавшего на слой масла (или смазки) во время вставки и запрессовки деталей, а также при контроле. После промывки в горячем масле подшипники сушат в горячей (110—120°) смазке УН или петролатуме в течение 10 мин. Затем на них наносят защитный слой смазки УН или петролатума кратковременным двух-трехкратным окунанием в расплавленную при 50—70° смазку.

Подшипники, требующие (по технологии) закладки в них рабочих смазок, и их детали (шайбы или кожуха), кроме войлочных уплотнений, после операций промывки в мыле и масле, сушки в масле и охлаждении до комнатной температуры подвергают дополнительной промывке в двух ваннах с бензином («галоша» или Б-70) для удаления с них масла. После этого на них наносят тонкий слой масла кратковременным окунанием в ванну следующего состава: бензина «Галоша» от 88 до 92 частей и масла от 8 до 12 частей. При этом в бензин вводят то масло, на котором изготовлена закладываемая в подшипники рабочая смазка. Для удаления избытка бензина изделия сушат в течение 20 мин. при комнатной температуре. В просушенные от бензина подшипники закладывают рабочую смазку, затем вставляют и запрессовывают необходимые детали (шайбы, кожуха или уплотнения и др.). Для некоторых типов подшипников при вставке и запрессовке шариков или иголок (роликов) требуется наличие густой смазки. В этих случаях применяют ту смазку, которая закладывается в подшипники. После закладки рабочей смазки и запрессовки необходимых деталей подшипники контролируют.

Разборные подшипники после контроля связывают мягкой металлической проволокой или специальными скрепками. Принятые ОТК подшипники про-

тирают сухой чистой салфеткой и на наружные поверхности наносят защитный слой смазки. Для защитного слоя применяют рабочую смазку той же марки, которая закладывается в подшипник.

Применяемый для уплотнения войлок не должен иметь анионов хлора и анионов серной кислоты. При наличии анионов войлок промывают в воде до удаления их. После удаления анионов хлора и серной кислоты войлок сушат и изготовляют из него детали уплотнений. До вставки и запрессовки в подшипники войлочные детали проваривают в горячем (110—120° С) масле до прекращения выделения на поверхности масла газовых пузырьков паров воды. Для проварки применяют масло, которое входит в состав рабочей или защитной смазки этих подшипников.

При закладке рабочей смазки, вставке и запрессовке деталей и контроле подшипников лица (особенно с повышенным потоотделением), выполняющие эти операции, должны избегать прикосновения к подшипникам и их деталям незащищенными руками, так как попавший с рук пот может вызвать коррозию подшипников. Для защиты от прикосновения рук надо применять бумагу (конденсаторную или парафинированную) из небеленого волокна, тигельные лабораторные щипцы, пинцеты и другие приспособления.

В случаях, когда прикосновение к подшипникам и деталям незащищенными руками неизбежно, для этих операций необходимо подбирать лиц с руками наименьшего потоотделения. Эти лица должны через каждые 2 часа работы мыть руки водным раствором олеинонатрового мыла (20 *Г/л*) и протирать их салфеткой.

Подшипники, прошедшие антикоррозионную обработку по третьему способу, упаковывают так же, как и подшипники, обработанные первым способом.

Четвертый способ применяют для малогабаритных подшипников с наружным диаметром до 50 *мм*, с деталями из черных и цветных металлов, а также из текстолита или маслостойкой пластмассы. Антикоррозионная обработка по этому способу производится по следующей технологии.

а) Первая промывка в течение не менее 1 мин. в горячем (70—85°) водном растворе олеинонатрового мыла (17—23 *Г/л*) для удаления солей, пота рук и других загрязнений.

б) Вторая промывка не менее 1 мин. в горячем (90—95°) масле индустриальное 12 для удаления пленки мыльного раствора.

Примечание. В некоторых случаях допускается вместо масла для второй промывки применять две ванны с бензином при комнатной температуре с последующей просушкой в шкафу при 100° для удаления бензина.

в) Сушка в горячем (110—120°) масле индустриальное 12.

Подшипники или детали, прошедшие обработку по четвертому способу, упаковывают в пробирки, заполненные маслом индустриальное 12, затем в коробки и ящики.

Пятый способ применяют только для малогабаритных изделий диаметром до 50 *мм*, изготовленных из черных металлов. Технология пятого способа следующая:

а) промывка в водном растворе триэтаноламина (8—10 *Г/л*) с нитритом натрия (2—3 *Г/л*) при комнатной температуре не менее 2 мин., а при 70—85° не менее 1 мин. для удаления солей пота рук и других загрязнений. При наличии на изделиях пленок масла, смазки или паст их перед промывкой в водном растворе предварительно промывают в бензине («Галоша» или Б-70);

б) после промывки в водном растворе изделия упаковывают в стеклянные пробирки или банки, заполненные водно-спиртовым (1:1) раствором триэтаноламина (8—10 *Г/л*) с нитритом натрия (2—3 *Г/л*), затем в коробки и в ящик.

Упаковка

Для предохранения от коррозии при транспортировке и хранении на складах изделия упаковывают. При упаковке применяют материалы, обладающие хорошими качествами по водо- и паронепроницаемости.

Паропроницаемость различных упаковочных материалов приведена в табл. 1.

Упаковка подшипников и их деталей подразделяется на внутреннюю и внешнюю. Материалы, применяемые для упаковки, приведены в табл. 2.

К внутренней упаковке относятся: завертывание в бумагу, укладка в пробирки или банки, нанесение защитных оболочек, упаковка в картонные коробки. К внешней упаковке — укладка изделий в ящики или контейнер.

1. Паропроницаемость материалов в *г/м²* за 24 часа

Наименование материалов	Толщина в *мк*	Вес в *м²/г*	Приблизительная проницаемость паров воды за 24 часа в *г/м²*
Бумага плотная оберточная	60	50	695
Бумага двухслойная с прослойкой битума	210	164	50
Бумага парафинированная (основа высококачественная)	40	43	До 45
Бумага парафинированная (основа малокачественная)	40	40	90
Бумага, покрытая лаком	80	86	10
Пленка из поливинилхлорида	240	300	10
То же	250	295	4,8
То же	180	210	3,4
Пленка из полиэтилена	35	—	3,1

Завертывание в бумагу. Для завертывания применяют водонепроницаемую бумагу — основу, пропитанную водоотталкивающими веществами — парафином или церезином.

Бумага — основа — должна быть изготовлена из небеленой целлюлозы и не должна содержать анионов хлора и серной кислоты, так как наличие их вызывает коррозию металла.

Завертывание в водонепроницаемую бумагу применимо только для изделий, прошедших антикоррозионную обработку по первому, второму и третьему способам.

Во избежание коррозии от пота рук, изделия при упаковке в бумагу необходимо брать бумагой, щипцами или другими проспособлениями. Прикосновение к изделиям незащищенными руками не допускается.

При завертывании подшипников диаметром до 500 *мм* каждого отдельно в водонепроницаемую бумагу применяют два способа: завертывание концов бумаги во внутреннее кольцо подшипника и

2. Материалы, применяемые при антикоррозионной обработке и упаковке

Наименование материала	ГОСТ или ТУ
Бензин марки Б-70	ГОСТ 1012-54
Бензин марки «Галоша»	ГОСТ 443-56
Бензол	ОСТ 10463-39
Бумага битумированная марки Б-160	ГОСТ 515-51
Бумага для пропитки парафином (или церезином):	
а) бумага — основа для парафинирования марок ОДП-35 и ОДП-28 из 100%-ной небеленой сульфатной целлюлозы	ГОСТ 5175-53
б) бумага телефонная	ГОСТ 3553-47
в) бумага для патронирования	ГОСТ 6662-53
Бумага конденсаторная	ОСТ 1908-49
Бумага, пропитанная парафином или церезином	ГУ Главподшипника 141-54
Калий едкий	ГОСТ 4203-48
Картон для коробок	ГОСТ 6983-54 и 7933-56
Кислота олеиновая марки Б	ГОСТ 7580-55
Лесоматериалы для ящиков	ГОСТ 5810-51 или 3008-45
Масло индустриальное 12 (веретенное 2)	ГОСТ 1707-51
Масло ОКБ 122-5	ВТУ МХП 4216-54
Масло турбинное 22 (турбинное Л)	ГОСТ 32-53
Масса ЭЗО (Охтинского химкомбината)	ТУ МХП 3031-55
Парафин марки А	ГОСТ 784-53
Пергамин кровельный марки П-200	ГОСТ 2697-51
Петролатум марки ПС	ГОСТ 4096-54
Полиэтиленовая пленка толщиной 35 *мк*	ВТУ МХП 4430-55
Сажа газовая	ГОСТ 6789-53
Силикагель марки КСМ	ГОСТ 3956-54

Продолжение табл. 2

Наименование материала	ГОСТ или ТУ
Скипидар (масло терпентиновое)	ГОСТ 1571-54
Смазка УН (технический вазелин)	ГОСТ 782-53
Сода каустическая	ГОСТ 2263-43
Спирт этиловый 96%-ный ректификат	ГОСТ 5962-51
Ткани:	
а) батист	ОСТ/НКТ 30279-40
б) бязь	ОСТ/НКТ 30286-40
в) шифон	ОСТ/НКТ 30266-40
Цвета на индикаторный силикагель	ГОСТ 3233-46
Церезин	ГОСТ 785-53 или ГОСТ 6789-53
Церезин синтетический ВТУ	495-53
Ящики для упаковки	ГОСТ 4391-48

способ завертывания конфет. При «конфетном» способе первые противоположные концы бумаги должны накладываться один на другой не менее чем на $^2/_3$ диаметра подшипника, а вторые (противоположные) концы складываются и подгибаются под подшипник в стык.

Крупногабаритные подшипники диаметром более 500 *мм* обертывают через отверстие двойной лентой водонепроницаемой бумаги нахлестом на половину ширины ленты.

Крупногабаритные подшипники весом более 8 *кГ* после обертки бумагой дополнительно обматывают лентой упаковочной ткани, предварительно пропитанной парафином или церезином. Обмотка тканью производится нахлестом на половину ширины ленты так, чтобы создалось два слоя.

У разъемных подшипников (конические и др.) обертывают бумагой отдельно наружное кольцо и блоки внутренних колец.

Подшипники малых размеров (до 50 *мм*) могут завертываться в один лист бумаги как каждый, так и группами до 10 шт.

Подшипники диаметром от 50 до 100 *мм* завертывают каждый в один лист водонепроницаемой бумаги, диаметром от 100 до 200 *мм* — в два листа бумаги, диаметрм от 200 до 500 *мм* — в три и более листов бумаги.

Свободные детали подшипников (шары, иголки, ролики) мелких и средних размеров вместо завертывания в бумагу упаковывают порциями в картонные коробки, выложенные внутри двумя листами водонепроницаемой бумаги, или помещают в водонепроницаемую бумагу, сложенную пакетом, с последующей укладкой в коробки.

Вес каждой коробки со свободными деталями не должен превышать 5 *кГ*.

Свободные детали (шары, ролики) крупных размеров завертывают в водонепроницаемую бумагу каждый в отдельности и затем упаковывают в коробки порциями или каждый в отдельности в зависимости от веса.

После завертывания в бумагу подшипники или их детали упаковывают в картонные коробки, затем в ящики. По договоренности с потребителем упаковку можно производить непосредственно в ящики без применения картонных коробок.

Нанесение защитных оболочек. В качестве водонепроницаемых защитных оболочек применяют: 1) смесь петролатума с парафином в отношении 1 : 1, 2) смесь петролатума с церезином. Количество добавляемого церезина определяется температурой каплепадения смеси, которая должна быть в пределах 60—70°; 3) этилцеллюлозу (или иначе масса Э30); 4) пленки из полиэтилена и др.

Водонепроницаемые защитные оболочки обычно применяют в тех случаях, когда изделия поступают в запас на длительные сроки хранения или при транспортировке морским и речным путем, а также в тропические страны.

Защитные оболочки из смесей церезина или парафина с петролатумом наносят на подшипники и их детали, предварительно завернутые в водонепроницаемую бумагу или в алюминиевую фольгу, кратковременным окунанием в расплавленную при 60—70° смесь, затем, выгрузив, дают смеси застыть.

Процесс окунания и застывания повторяют до тех пор, пока упаковка изделия полностью покроется оболочкой. Изделия, завернутые в бумагу или фоль-

гу, перевязывают ниткой, шнуром или шпагатом. оставляют концы, за которые держат изделия при окунании в расплавленную смесь. После нанесения оболочки концы срезают.

При применении в качестве защитной оболочки этилцеллюлозы (Э30) ее наносят кратковременным окунанием изделия в расплавленную при 180° массу. Для расплавления этилцеллюлозы необходимо применять ванну с двумя стенками, между которыми должно находиться или масло с температурой вспышки не ниже 225°, или глицерин. Это делается для того, чтобы масляная или глицериновая рубашка предохранила этилцеллюлозу от неравномерного нагрева, ведущего к ее осмолению. Перед загрузкой в ванну этилцеллюлозу необходимо измельчать на мелкие кусочки.

В случаях применения в качестве защитных оболочек пленки из полиэтилена или других пластмасс, не вызывающих коррозии металла, завертывание изделий в бумагу или фольгу не производится. В этом случае изделия без предварительного завертывания в бумагу укладывают в заранее изготовленные пакеты из пленки пластмассы соответствующего размера и отверстие пакета заваривают. Температура нагрева для заваривания шва полиэтилена должна быть в пределах 130—160°.

Изделия после нанесения защитных оболочек упаковывают в картонные коробки и затем в ящики.

Упаковка в пробирки или банки. В пробирки или банки обычно упаковывают мелкие изделия размером до 50 *мм*, прошедшие антикоррозионную обработку. При упаковке в пробирки и банки предварительного завертывания изделий в бумагу не требуется. Размер пробирок или банок должен соответствовать размерам упаковываемых в них изделий.

Для изделий с нанесенной на них пленкой смазки, а также изделий, загружаемых в масло, применяют пробирки и банки из маслостойкой пластмассы (например, сополимера МСЗ или МСН).

Для изделий, загружаемых в водноспиртовой раствор, применяют пробирки и банки из стекла или фарфора.

Подшипники, прошедшие антикоррозионную обработку по первому, второму и третьему способам, упаковывают по 5—10 шт. в пробирки из пластмассы с внутренним диаметром на 1—3 *мм* больше диаметра подшипника и высотой на 1—3 *мм* больше суммы высот закладываемых подшипников. При упаковке отдельно каждого подшипника применяют банки с внутренним диаметром и высотой на 1—2 *мм* больше диаметра и высоты подшипника.

Для свободных шариков и иголок используют пробирки или банки такие же, как и для подшипников.

Подшипники и детали, прошедшие, антикоррозионную обработку по четвертому способу, упаковывают в пробирки из пластмассы порциями по 5—10 шт. Внутренний диаметр пробирок должен превышать наружный диаметр подшипника на ~3 *мм*, а высота пробирки должна быть на 15—20 *мм* больше суммы высот упаковываемых в пробирки подшипников. Для шариков или иголок, обработанных по четвертому способу, применяют пробирки, изготовляемые для подшипников, или специально изготовленные для них банки. После укладки в пробирки изделий их заливают маслом (индустриальное 12 или турбинное Л).

Подшипники или детали, прошедшие антикоррозионную обработку по пятому способу, упаковывают в пробирки из стекла или фарфора по 5—10 шт. Внутренний диаметр и высота пробирок должны быть такие же, как и для подшипников, обработанных четвертым способом.

Для шариков или иголок применяют пробирки, изготовленные для подшипников, или специально изготовленные банки. Перед укладкой изделий, прошедших обработку по пятому способу, в пробирки предварительно на $^1/_3$ наливают водноспиртовый раствор следующего состава: воды дистиллированной 500 *мл*; спирта этилового 96-ного (или этиленгликоля 96-ного) 500 *мл*; триэтаноламина 8—10 *Г*; нитрита натрия 2—3 *Г*.

Затем в этот раствор погружают подшипники или детали и доливают пробирку (или банку) так, чтобы уровень раствора возвышался над изделиями не менее чем на 10 *мм*.

После упаковки изделий пробирки (или банки) из пластмассы закрывают крышками, края крышки оклеивают стирофлексовой лентой, предварительно смазанной лаком цапон. Пробирки (или банки) из стекла (или фарфора) закрывают стеклянной (или фарфоровой) притертой пробкой, затем ее заливают смесью парафина с воском в отношении 1:1 или лаком цапон. После заливки

пробку обертывают бумагой и завязывают шнуром.

Пробирки (или банки) с изделиями упаковывают в картонные коробки и затем в ящики.

Упаковка в коробки. Подшипники, прошедшие антикоррозионную обработку по первому, второму и третьему способам, диаметром до 300 *мм*, класса В, А, С, АВ, СА и специального назначения после завертки в водонепроницаемую бумагу, а также с нанесенной защитной оболочкой упаковывают в картонные коробки. Подшипники диаметром до 50 *мм* могут упаковываться в коробки порциями. Подшипники диаметром от 50 до 300 *мм* упаковываются в индивидуальные коробки. Подшипники диаметром более 300 *мм* упаковывают в ящики без упаковки в коробки. Свободные шары, иглы, ролики одного размера после обработки по первому, второму и третьему способам укладывают в коробки порциями. Перед упаковкой внутри коробки прокладывают два листа водонепроницаемой бумаги. Вес каждой коробки с изделиями не должен превышать 5 *кГ*, за исключением тех изделий, которые индивидуально имеют вес более 5 *кГ*.

Подшипники и их детали, прошедшие обработку по первому, второму и третьему способам, после упаковки их в пробирки (или банки) из пластмассы дополнительно упаковывают в картонные коробки. При этом пробирки устанавливают в коробку по дну рядами с прокладкой каждого ряда водонепроницаемой бумагой или в соответствующие гнезда (при наличии таковых).

Подшипники или их детали, прошедшие антикоррозионную обработку по четвертому и пятому способам и уложенные в пробирки (или банки) из пластмассы, стекла или фарфора, дополнительно упаковывают в картонные коробки. Пробирки (или банки) из стекла или фарфора перед установкой в коробки завертывают каждую в отдельности в бумагу. Установку в коробки производят в соответствующие для них гнезда пробкой (или крышкой) вверх.

Во избежание ударов пробирок (или банок) одной об другую при перевозках, пустоты в коробке плотно заполняют бумагой.

После укладки подшипников или их деталей коробки закрывают и оклеивают бандеролью или этикеткой согласно установленной нормали.

Упаковка в ящики. Картонные коробки с упакованными подшипниками или их деталями укладывают в сухие деревянные ящики.

Подшипники весом более 40 *кГ* укладывают в ящики (без коробок) не более одного. Внутренняя поверхность ящика должна быть выложена слоем битумированной бумаги и дополнительно бумагой, пропитанной парафином или церезином.

Вес брутто ящика с подшипниками или их деталями при упаковке порциями не должен превышать 60 *кГ*.

Укладка подшипников или их деталей в ящики должна быть плотной, исключающей перемещение их при транспортировке и повреждение упаковочного материала. Пустоты в ящиках заполняют бумагой, пропитанной парафином или церезином, а также битумированной бумагой или прокладками из сухого дерева, предварительно завернутыми в водонепроницаемую бумагу. В случаях образования значительных пустот следует применять специальные ящики нестандартных размеров.

В каждый ящик с изделиями вкладывают сопровождающие документы установленного образца, гарантирующие качество изделий.

В один ящик обычно упаковывают изделия только одного типоразмера. При небольших поставках одному потребителю допускается упаковка в один ящик нескольких типоразмеров.

После укладки изделий в ящики их сверху закрывают концами проложенной внутри ящика водонепроницаемой бумаги, затем битумированной бумаги. Противоположные концы бумаги должны перекрывать друг друга не менее чем на 100 *мм*, а последний верхний конец бумаги должен заходить до противоположной стороны ящика.

Затем на ящик накладывают крышку и обивают стальной лентой. При обивке концы гвоздей не должны проходить внутрь ящика во избежание повреждения бумаги и изделий.

Маркировку ящиков с изделиями производят в соответствии с ГОСТ 520-55 краской из смеси скипидара (94—96%) и сажи газовой (4—6%).

Упаковка подшипников в контейнер. Иногда применяется упаковка в контейнер. Внутренняя поверхность контейнера должна быть чистой, сухой и выложена битумированной бумагой, а затем бумагой, пропитанной парафином или церези-

ном. После укладки в контейнер изделия сверху закрывают специально оставленными для этой цели концами бумаги, пропитанной парафином или церезином, а затем битумированной бумаги. Концы каждой бумаги должны перекрывать один другого не менее чем на $^2/_3$ ширины контейнера.

Укладка изделий в контейнер, так же как и в ящик, должна быть плотной, исключающей при транспортировке повреждения упаковочного материала и изделий. С этой целью сверху битумированной бумаги накладывают решетку из сухого дерева. Решетка крепится специальными распорками к стенкам контейнера.

ТРАНСПОРТИРОВКА

Ящики с подшипниками могут транспортироваться только в закрытых транспортных средствах (машинах, вагонах, судах и т. п.), обеспечивающих защиту от атмосферных осадков.

ХРАНЕНИЕ

На транзитных складах (при вокзалах, пристанях и др.) ящики с подшипниками должны храниться в закрытых сухих помещениях, защищающих от атмосферных осадков и почвенной сырости.

На складах распределительных баз и у потребителя подшипники должны освобождаться от контейнеров и ящиков и укладываться для хранения на стеллажи. Стеллажи не следует располагать в непосредственной близости от наружных стенок здания и к нагревательным приборам, системам и установкам. Складское помещение должно быть сухим и отапливаемым с годовой температурой в пределах 10—35°, относительной влажностью воздуха не более 70% и с суточным колебанием температуры, не превышающим 5°.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРА МЫЛА

При антикоррозионной обработке по первому, третьему и четвертому способам применяют водный раствор олеинонатрового или олеинокалиевого мыла, приготовляемого следующим способом: в ванну наливают 100 *л* воды с жесткостью не более 5 *мГ-экв/л* (расчет на Ca) или лучше конденсат. В воду загружают необходимое количество NaOH или KOH. Раствор нагревают до 70—85° и перемешивают до полного растворения NaOH или KOH. В нагретый раствор при тщательном перемешивании постепенно вводят олеиновую кислоту. Через час после введения кислоты раствор еще раз перемешивают и отбирают пробу на анализ.

Раствор олеата натрия или олеата калия считается пригодным для промывки, когда он будет содержать:

а) олеата натрия или калия от 17 до 23 *Г/л*;

б) свободной неомыленной олеиновой кислоты не более 0,6 *Г/л* или свободной щелочи (NaOH) не более 0,08 *Г/л*;

г) бикарбоната натрия ($NaHCO_3$) не более 1,2 *Г/л*;

д) карбоната натрия (Na_2CO_3) не более 0,1 *Г/л*.

Расчет количества NaOH (или KOH) и олеиновой кислоты для 100 *л* раствора с содержанием олеата натрия 20 *Г/л* производят по формулам:

едкий натр:

$$NaOH = \frac{40 \cdot 2000 \cdot 100}{304 \cdot C} = \frac{26315{,}8}{C}\ Г$$

или

едкий калий

$$KOH = \frac{56{,}1 \cdot 2000 \cdot 100}{320 \cdot C} = \frac{35\,062}{C}\ Г,$$

где 40 — молекулярный вес NaOH; 56,1 — молекулярный вес KOH; 2 000 — количество граммов олеата Na или K в 100 *л* раствора; 304 — молекулярный вес олеата натрия; 320 — молекулярный вес олеата калия; *C* — концентрация применяемого NaOH или KOH в весовых процентах.

Олеиновая кислота

$$C_{17}H_{32}COOH = \frac{40 \cdot 2000 \cdot 1000}{304 \cdot 0{,}714 \cdot T} = \frac{36866{,}6}{T},$$

где 40 — молекулярный вес NaOH; 2 000 — количество олеата Na на 100 *л* раствора в *Г*; 1 000 — переводной коэффициент *мГ* в *Г*; 304 — молекулярный вес олеата натрия; 0,714 — переводной

коэффициент кислотного числа с КОН на $NaOH = \frac{40}{56}$; T — кислотное число (или число омыления) олеиновой кислоты.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРА ТЭА

При антикоррозионной обработке по второму и пятому способам применяют водный раствор триэтаноламина (ТЭА) с добавкой нитрита натрия ($NaNO_2$), приготовляемого так: в ванну наливают 100 *л* воды и при тщательном перемешивании вводят ТЭА в количестве от 800 до 1 000 *Г* и $NaNO_2$ от 200 до 300 *Г*. Через час снова перемешивают и отбирают пробу на анализ.

Раствор считается пригодным для промывки, если он содержит ТЭА в пределах 8—10 *Г/л* и $NaNO_2$ 2—3 *Г/л*.

АНАЛИЗ РАСТВОРА МЫЛА

Для анализа водного раствора олеата натрия (или калия) необходимы следующие рабочие растворы: 0,1 *n* HCl; 0,1 *n* NaOH; насыщенный раствор NaCl и 10%-ный раствор $BaCl_2$.

Ход анализа. Из анализируемого мыльного раствора отбирают пипеткой три пробы по 25 *мл* и помещают их в три конические колбы.

Затем вводят в первую пробу 4—5 капель метилоранжа; во вторую пробу 10 *мл* 0,1 *n* NaOH (из бюретки), 50 *мл* насыщенного раствора NaCl и 4—5 капель фенолфталеина; в третью пробу 10 *мл* 0,1 *n* NaOH, 15 *мл* 10%-ного $BaCl_2$ и 4—5 капель фенолфталеина.

После взбалтывания все три пробы титруют 0,1 *n* HCl: первую пробу до перехода желтой окраски в розовую, вторую и третью до исчезновения розовой окраски.

Количество *мл* 0,1 *n* HCl, пошедших на титрование каждой пробы, умножают на поправочный коэффициент, т. е. коэффициент нормальности.

Кроме трех проб испытуемого раствора олеата натрия, производят титрование 0,1 *n* HCl холостой пробы, содержащей 10 *мл* 0,1 *n* NaOH с фенолфталеином.

Для удобства расчетов обозначим количество *мл* 0,1 *n* HCl, израсходованных на титрование первой пробы, буквой *a*, второй—*в*, третьей—*c* и на 10 *мл* 0,1 *n* NaOH (холостой пробы) буквой *y*.

Содержание олеата натрия определяют по формулам:

олеат $Na = (a - b + c) \cdot 1{,}28$ *Г/л*

или

олеат $Na = (a - 2b + c + y) \cdot 1{,}28$ *Г/л*.

Первую формулу применяют для кислых мыл, когда количественно $b < y$ или $b = y$.

Вторую формулу применяют для щелочных мыл, г. е. когда $b > y$ или $b = y$.

Содержание свободной (неомыленной) олеиновой кислоты определяют по формуле

$$C_{17}H_{32}COOH = (y - b) \cdot 1{,}128 \text{ Г/л}.$$

Бикарбонат определяют по следующим формулам:

при

$b < y$ $NaHCO_3 = (b - c) \cdot 0{,}34$ *Г/л*;

при

$b > y$ или $b = y$ $NaHCO_3 = (y - c) \cdot 0{,}34$ *Г/л*.

Содержание свободного NaOH в мыльном растворе определяют только в тех случаях, когда $c > y$:

$$NaOH = (c - y) \cdot 0{,}16 \text{ Г/л}.$$

Карбонат натрия Na_2CO_3 рассчитывается только тогда, когда $b > y$, по формуле

$$NaCO_3 = (b - y) \cdot 0{,}42 \text{ Г/л}.$$

Исправление мыльного раствора

Кислый раствор. При наличии в мыльном растворе свободной неомыленной олеиновой кислоты более 0,6 *Г/л* его исправляют добавлением NaOH. Количество NaOH для исправления 100 *л* раствора рассчитывается по формуле

$$NaOH = \frac{n \cdot 40 \cdot 100 \cdot 100}{282 \cdot M} = \frac{1418{,}4 \cdot n}{M} \text{ Г/100 л},$$

где n — количество свободной олеиновой кислоты в мыльном растворе в *Г/л*; M — концентрация в весовых % добавляемого NaOH.

Щелочной раствор. При наличии в мыльном растворе свободной NaOH более 0,08 *Г/л* его исправляют добавлением олеиновой кислоты. Количество олеиновой кислоты для исправления 100 *л* раствора рассчитывают по формуле

$$C_{17}H_{32}COOH = \frac{282 \cdot 198{,}6 \cdot 100 \cdot m}{40 \cdot T} = \frac{140\,000 \cdot m}{T}\ Г/100\ л,$$

где m — количество свободной NaOH в мыльном растворе в *Г/л*; T — кислотное число (или число омыления) олеиновой кислоты в *мГ/Г*; 198,6 — теоретическое кислотное число олеиновой кислоты.

Нейтральный раствор. Нейтральный раствор исправляется в тех случаях, когда содержание олеата натрия в растворе более 23 или менее 17 *Г/л*.

При содержании олеата натрия более 23 *Г/л* мыльный раствор можно исправить двумя способами. По первому способу количество воды, необходимое для разбавления раствора, вычисляют по формуле

$$P = \frac{(K - K_н)V}{K_н},$$

где P — количество воды, необходимое для разбавления, в *л*; V — объем исправляемого раствора в *л*; K — концентрация олеата натрия в исправляемом растворе в *Г/л*; $K_н$ — концентрация олеата натрия по норме, до которой требуется снизить содержание мыла, в *Г/л*.

По второму способу объем мыльного раствора, который нужно изъять и заменить объемом воды, рассчитывают по формуле

$$P_1 = \frac{(K - K_н)V}{K},$$

где P_1 — количество мыльного раствора, отбираемого для удаления из ванны, в *л*; V, K, $K_н$ — имеют те же значения, что и при первом способе.

При содержании олеата натрия в растворе ниже 17 раствор исправляется введением NaOH и олеиновой кислоты.

Необходимое количество NaOH для введения в раствор рассчитывают по формуле

$$NaOH = \frac{40 \cdot 100 \cdot 100 \cdot M}{304 \cdot C} = \frac{1315{,}8 \cdot M}{C}\ Г/100\ л,$$

где M — количество мыла, необходимого для добавления на 100 *л* раствора, в *Г*; C — концентрация вводимого в раствор NaOH в весовых процентах.

Количество олеиновой кислоты рассчитывают по формуле

$$C_{17}H_{32}COOH = \frac{40 \cdot 1000 \cdot M}{304 \cdot 0{,}714 \cdot T} = \frac{184{,}3 \cdot M}{T}\ Г/100\ л,$$

где M — количество мыла, необходимого для добавления на 100 *л* раствора, в *Г*; T — кислотное число (или число омыления) олеиновой кислоты.

Анализ раствора ТЭА

Для анализа раствора триэтаноламина (ТЭА) необходимо иметь следующие рабочие растворы: 0,1 HCl (или H_2SO_4), серную кислоту с уд. в. = 1,84, 0,1 $KMnO_4$ и смешанный индикатор.

Определение ТЭА. В коническую колбу на 200 *мл* вводят пипеткой 25 *мл* анализируемой жидкости и титруют 0,1 HCl (или H_2SO_4) в присутствии двух-трех капель смешанного индикатора до перехода зеленой окраски в фиолетовую.

Содержание ТЭА определяют по формуле

$$ТЭА = \frac{a \cdot 0{,}015 \cdot 1000}{25} = a \cdot 0{,}6\ Г/л,$$

где a — число *мл* 0,1-н кислоты, пошедшей на титрование 25 *мл* анализируемой жидкости.

Определение $NaNO_2$. В коническую колбу емкостью 500 *мл* наливают 300 *мл* дистиллированной воды, затем 15 *мл* H_2SO_4 с уд. в. 1,84 и 10 *мл* 0,1-н $KMnO_4$.

Содержимое колбы перемешивают, нагревают до 40—50° и титруют из бюретки анализируемым раствором ТЭА до обесцвечивания $KMnO_4$. К концу титро-

вания анализируемый раствор медленно доливают в колбу.

Расчет содержания $NaNO_2$ производят по формуле

$$NaNO_2 = \frac{b \cdot 0{,}00345 \cdot 1000}{m} = \frac{b}{m} \cdot 3{,}45 \ г/л,$$

где b — количество 0,1-н $KMnO_4$ (b = = 10 *мл*) в *мл*; m — количество анализируемого раствора ТЭА, пошедшие на титрование $KMnO_4$, в *мл*.

Исправление раствора ТЭА

Рабочий водный раствор должен содержать триэтаноламина (ТЭА) 8—10 *г/л*, нитрита натрия ($NaNO_2$) 2—3 *г/л*.

При содержании ТЭА и $NaNO_2$ выше или ниже указанных пределов раствор исправляют добавлением соответствующего компонента — ТЭА, $NaNO_2$ или воды.

Глава XXIV

КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ И СОБРАННЫХ ПОДШИПНИКОВ

В производственных условиях требуется много времени для проверки каждой детали по нескольким геометрическим параметрам. Так, наиболее простые детали подшипников — тела качения — требуют проверки от трех (для шариков) до шести-восьми геометрических параметров (для роликов). Кольца требуют проверки от десяти до шестнадцати-восемнадцати геометрических параметров.

Указанные количества параметров подлежат проверке после окончательного изготовления деталей. На промежуточных операциях количество параметров, подлежащих проверке, уменьшается, доходя до минимума в заготовительных цехах.

По наиболее важным параметрам детали подвергаются 100%-ному контролю, по остальным параметрам они контролируются выборочно в том или ином объеме.

В итоге для каждого готового подшипника массового типа требуется на всех этапах изготовления его деталей до 100 и более контрольных операций разной степени сложности.

Для выпуска десятков тысяч подшипников в день требуется производить несколько миллионов контрольных операций.

Справиться с таким огромным объемом контрольных операций помогают применяемые в тысячах экземпляров специальные измерительные приборы, на которых измерения производятся вручную, и контрольные автоматы, которые позволяют достигать большой производительности контроля.

Мелкосерийные подшипники сложных конструкций или больших габаритов требуют для их проверки во много раз больше времени, чем крупносерийные и массовые подшипники.

Огромное большинство контрольных операций на приборах сводится к измерениям следующих основных параметров.

1. Диаметров цилиндрических, конических, сферических, бочкообразных и торовых наружных и внутренних поверхностей (желобов).

2. Неперпендикулярности торца (плоского или сферического) к оси поверхности с прямолинейной или криволинейной образующей.

3. Длины, ширины — расстояния между внутренними или наружными поверхностями.

4. Непараллельности плоских, плоских и конических, плоских и торовых поверхностей.

5. Угла конуса (внутреннего или внешнего).

6. Положения от торца определенных поперечных сечений поверхностей бочкообразной или торовой формы (желобов).

7. Гранности (огранки) цилиндрических, конических, сферических и бочкообразных поверхностей.

8. Удвоенной эксцентричности одной относительно другой двух поверхностей разной формы.

В зависимости от класса точности подшипников (ГОСТ 520—55) детали для них изготовляют с различной степенью точности.

Точность деталей подшипников характеризуется величинами отклонений их от номинальных размеров и от точной геометрической формы. Контроль деталей подшипников, осуществляемый на специальных цеховых приборах, имеет своей целью определение соответствия деталей заданной точности.

Измерение на цеховых приборах диаметров, углов и длин является, как правило, относительным (сличением с эталонами), а измерение точности формы — почти всегда абсолютным измерением.

Эталонами в практике называют преимущественно специально изготовленные детали, поверхности которых повторяют подлежащие контролю поверхности деталей подшипников. Эти поверхности

эталонов являются рабочими поверхностями и доводятся до высокого класса чистоты. Геометрическая форма рабочих поверхностей эталонов выдерживается по возможности ближе к идеальной. К размерам эталонов не предъявляют столь жесткие требования, как к их форме, так как отклонения их размеров от номинальных легко и просто учитываются.

Эталоны служат для настройки и проверки настройки измерительных приборов, и контроль деталей подшипников заключается в определении отклонений их размеров от размеров эталонов. При настройке передвижные указатели на измерительной головке прибора устанавливают, с учетом фактического размера эталона, на расстоянии поля допуска для деталей, и при контроле деталей стрелка измерительной головки не должна выходить за указатели (вправо или влево).

Фактические размеры эталонов устанавливают на оптических приборах в измерительных лабораториях и отмечают на самих эталонах (на нерабочих поверхностях) или в сопровождающих эталоны специальных паспортах.

Эталоны периодически перепроверяются в измерительных лабораториях и тем чаще, чем чаще используется эталон.

КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ

Отклонения поверхностей от точной формы по овальности и гранности (огранке) встречаются у всех деталей подшипников, являющихся телами вращения.

Овальность поверхности вращения (цилиндрической, конической, бочкообразной, торовой, сферической) определяется разностью наибольшего и наименьшего диаметров, измеренных в одном сечении, но расположенных в разных направлениях,— так называемое двухточечное измерение.

Гранностью (или огранкой) называют такое отклонение поверхности вращения от точной формы, при котором поперечное сечение поверхности является некруглым, но диаметральный размер сечения во всех направлениях одинаков, что говорит о непригодности двухточечного измерения для определения этого дефекта. Гранность поверхности колец и роликов выражается в основном так называемой треугольностью их поперечных сечений (тенденция эволюции к правильному треугольнику), а гранность шариков — в так называемой четырехгранности (в пространстве — тенденция превращения в тетраэдр).

За действительную величину гранности колец и роликов принимают разность радиусов описанной вокруг некруглого контура и вписанной в него касательных окружностей, а для шариков — разность радиусов описанной и вписанной касательных сфер.

Измерение гранности поверхности колец и роликов производят при вращении в призме с углом 60, 90 или 120° под наконечником измерительной головки, расположенным на биссектрисе угла призмы (трехточечное измерение).

Гранность шариков, в соответствии с ГОСТ 3722-54, проверяется также при установке их в призме с углом 60°. Этот метод не вполне точен для контроля пространственной огранки шариков и принят лишь для упрощения контроля.

Методом двухточечного измерения овальности поверхностей получают действительную величину овальности.

Методом трехточечного измерения гранности поверхностей получают не действительную гранность, а величину, пропорциональную ей и бо́льшую, чем действительная гранность.

Наиболее точными методами контроля гранности являются:

для колец и роликов всех типов — трехточечное измерение в призме с углом 60°, которое дает трехкратную величину действительной гранности, выраженной в виде треугольности *;

для шариков — четырехточечное измерение с опорой шариков в трех точках на трех узких, расположенных через 120°, участках конусной поверхности с углом при вершине 38°56′ под наконечником измерительной головки, расположенным на оси конуса.

Этот метод измерения дает четырехкратную величину действительной гранности шариков, выраженной четырехгранностью.

Допуски на гранность деталей подшипников обычно сопровождаются указаниями методов ее измерения.

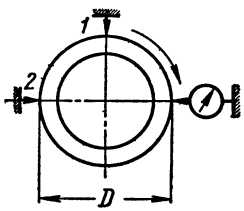
* За рубежом применяют призму с углом 108°, в которой обнаруживается трех-, пяти- и семиугольная огранка, а также овальность с некоторыми переходными коэффициентами.

КОНТРОЛЬ КОЛЕЦ

Контроль диаметров наружных поверхностей колец

Измерения производят на приборах типов Д312, Д422, Д414 и 064 для контроля диаметров наружных поверхностей по схеме, показанной на фиг. 1.

Кольцо укладывают на плиту прибора и проворачивают вокруг оси с легким прижимом к упорам 1 и 2.



Фиг. 1. Схема измерения диаметров наружных поверхностей.

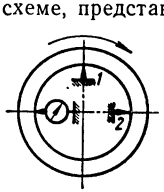
Вращение кольца на полный оборот позволяет определить овальность поверхности, а измерение в двух сечениях по высоте кольца, несколько отступя от торцов, при установке кольца на плиту разными торцами, — конусность поверхности.

Для контроля гранности наружной поверхности вместо упора *2* устанавливают угольник, а упор *1* убирают.

По схеме фиг. 1 измеряют диаметр как посадочных поверхностей, так и дорожек качения внутренних колец шарико- и роликоподшипников.

Контроль диаметров внутренних поверхностей колец

Измерения производятся на приборах типов Д414, Д323 и 064 для контроля диаметров внутренних поверхностей по схеме, представленной на фиг. 2.



Фиг. 2. Схема измерения диаметров внутренних поверхностей.

Схема измерения диаметров, а также овальности и конусности внутренних поверхностей та же, что и при контроле диаметров наружных поверхностей.

По схеме фиг. 2 измеряют диаметры внутренних поверхностей как посадочных, так и дорожек качения наружных колец шарико- и роликоподшипников.

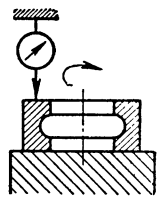
При измерениях диаметров наружных и внутренних поверхностей по схемам фиг. 1 и 2 упоры *1* после настройки приборов по эталонам сохраняют свое положение. Так как у измеряемых деталей диаметры разные, то у большинства из деталей измеряются не диаметры, а хорды, расположенные весьма близко к диаметрам. Это ведет к погрешности измерений, которую, однако, путем соответствующей настройки приборов можно сделать ничтожно малой.

Контроль ширины колец

Контроль ширины колец производится по простой схеме, представленной на фиг. 3, с установкой наконечника измерительной головки примерно на середине торца кольца.

Вращение кольца при измерении позволяет определить одновременно и непараллельность торцов.

При вращении кольца, для обеспечения постоянства положения оси, его прижимают наружной поверхностью к угольнику.

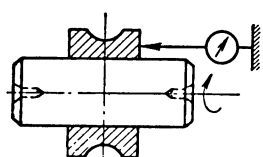


Фиг. 3. Схема измерения ширины.

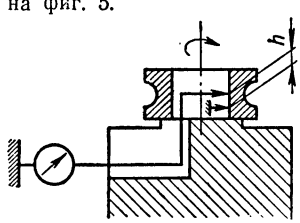
Контроль ширины колец производят на приборах В901, В902 и В903.

Контроль неперпендикулярности оси отверстий к торцу

Этот контроль колец осуществляется или на слегка конусных оправках в центрах по схеме, представленной на фиг. 4, или на приборах по схеме, показанной на фиг. 5.



Фиг. 4. Схема измерения неперпендикулярности оси отверстия к торцу.



Фиг. 5. Схема измерения неперпендикулярности оси отверстия к торцу.

Контроль на конусной оправке мало производителен, пригоден только для

цилиндрических отверстий; кроме того, кольцо можно перекосить и тем самым исказить результат измерений, но местные дефекты поверхности отверстия и наличие забоин на торцах у фасок не влияют на результаты измерений. При более производительном контроле на приборе по схеме фиг. 5, пригодном к тому же и для конусных отверстий, перекос кольца исключается, но для этого на торцах забоин не должно быть; кроме того, на результаты измерений могут влиять местные дефекты на поверхности отверстия, а низкий класс чистоты поверхности отверстия затрудняет отсчет результатов измерений.

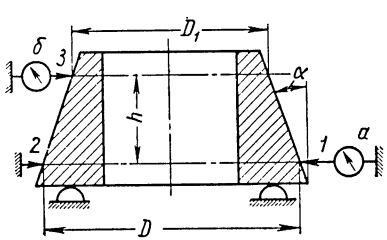
Контроль неперпендикулярности оси отверстия к торцу производят на приборах Б111 и Б122 с оправкой и на приборах Ю412 и Ю413 по схеме измерений фиг. 5.

По схеме фиг. 5, но с установкой упора и наконечника измерительного рычага к наружной поверхности кольца, проверяют неперпендикулярность к торцу оси наружной поверхности.

Контроль угла конуса и неперпендикулярности оси конуса к торцу

Эти параметры дорожек качения внутренних и наружных колец конических роликоподшипников проверяют на приборах с тождественными схемами измерений.

Дорожки качения внутренних колец проверяют по схеме, представленной на фиг. 6.



Фиг. 6. Схема измерения диаметра, овальности, угла конусности и неперпендикулярности оси конуса к торцу дорожек качения внутренних колец.

В плоскости упоров *1* и *2*, служащих для измерения диаметра D и овальности дорожки качения (измерительная головка *а*), располагается третий вспомогательный упор, как показано на схеме фиг. 1.

За диаметры дорожек качения колец конических роликоподшипников принимают диаметры окружностей пересечения поверхностей дорожек качения: с плоскостью широкого торца — для наружных колец, с опорной поверхностью для роликов у большего борта — для внутренних колец.

Упор *3*, который должен касаться кольца в том же вертикальном сечении, что и упор *2*, служит для измерения угла конуса дорожки качения α и неперпендикулярности ее оси к торцу. При вращении кольца вокруг оси полное перемещение стрелки по шкале измерительной головки *б* дает меру неперпендикулярности оси конуса к торцу, а положение стрелки, соответствующее половине ее полного перемещения, дает величину фактического угла конуса дорожки качения.

Таким образом, на приборах со схемой измерений по фиг. 6 контролируют диаметр, овальность, угол конуса и неперпендикулярность оси конуса к торцу дорожки качения внутренних колец. Диаметр и угол конуса дорожки качения определяют путем сравнения с эталоном.

Для контроля дорожек качения наружных колец конических роликоподшипников упоры *1—3* располагают аналогично схеме, показанной на фиг. 6, но на поверхности внутреннего конуса.

Погрешность измерения угла конуса дорожек качения колец по этой схеме вызывается тем, что при настройке прибора по эталону упоры *2* и *3* могут быть смещены один относительно другого и находиться в разных продольных сечениях кольца. Эта погрешность может достичь существенной величины по сравнению с весьма малым допуском на отклонение угла от номинальной величины. Контроль параметров дорожек качения колец производят на приборах У451 и У452 для внутренних колец и для наружных колец на приборах 289 и 299.

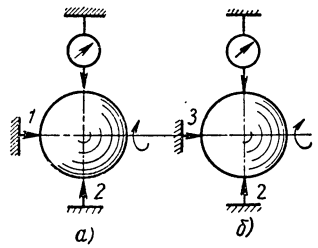
Контроль шариков

Измерение диаметра и овальности шариков производят на приборах по схеме, показанной на фиг. 7.

Измерение шариков на приборах производят выборочно при шлифовании шариков для проверки межоперационных раз-

меров и после сортировки на машинах для установления фактических диаметров отсортированных групп шариков.

Для измерения гранности шариков, вместо упора *2*, устанавливают призму с углом 60°, а упор *1* убирается.



Фиг. 7. Схема измерения диаметра и овальности шариков: *а* — вид спереди; *б* — вид сбоку.

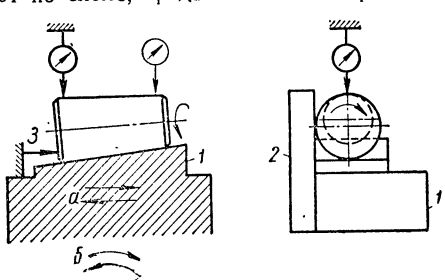
При измерении овальности и гранности шарика его вращают вокруг разных осей с легким прижимом к упорам и к призме.

Величина гранности шарика определяется наибольшей амплитудой перемещения стрелки по шкале измерительной головки прибора.

Контроль шариков производят на приборах № 262 и 263.

Контроль конических роликов

Измерение диаметра, овальности, угла конуса и гранности конических роликов производится на приборах типа 101 по схеме, представленной на фиг. 8.



Фиг. 8. Схема измерения диаметра, овальности и угла конуса конических роликов.

За диаметр конического ролика принимается диаметр окружности пересечения конической поверхности и поверхности опорной (базовой) части широкого торца, которая может быть сферической, плоской или конусной.

Для измерений ролик укладывается на столик *1* и упирается в вертикальную планку *2*, прикрепленную к столику винтами. Сверху с роликом соприкасается наконечник стержня измерительной головки. Столик с планкой крепится винтом к каретке на ползуне, который можно передвигать вправо и влево по стрелкам *а* (до регулируемых упоров). Каретку можно, кроме того, поворачивать вокруг горизонтальной оси по стрелкам *б*. Столик с планкой можно поворачивать вокруг вертикальной оси (оси крепежного винта). Поворотом каретки и столика достигают такого положения эталонного ролика, чтобы его образующая под наконечником измерительной головки расположилась горизонтально и параллельно направлению движения ползуна с кареткой.

При положении ролика, показанном на фиг. 8, измеряется его диаметр (в сечении немного отступя от широкого торца) и овальность при вращении ролика на столике рукой с прижимом его к упору *3* и к планке *2*.

Передвигая ползун с кареткой по стрелке *а* влево до упора (измерительная головка находится в положении, показанном тонкими линиями), проверяют прямолинейность образующей и угол конуса ролика сравнительно с углом конуса эталонного ролика.

Для определения гранности ролика на каретку, вместо столика *1* с планкой *2*, устанавливают призму с углом 60° или 90°, в которую укладывается ролик. При вращении ролик прижимается к упору *3*. Амплитуда перемещения стрелки измерительной головки вдоль шкалы соответствует величине гранности роликов (за один полный поворот «трехгранного» ролика минимальное и максимальное показания стрелки повторяются 3 раза).

Контроль цилиндрических и игольчатых роликов

У цилиндрических роликов проверяют диаметр, овальность, конусность, гранность, длину и неперпендикулярность торцов к оси. Четыре из этих параметров проверяют на приборах В901.

Для проверки диаметра ролик укладывается цилиндрической поверхностью на плоскую плиту прибора В901 и подводится несколько раз под сферический наконечник измерительной головки после поворота на некоторый угол вокруг оси. Разность наибольшего и наимень-

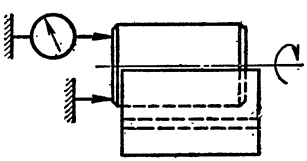
шего диаметров ролика дает величину овальности ролика.

Проверка диаметра ролика в двух сечениях по краям без его поворота, т. е. в одном продольном сечении, дает величину конусности ролика.

Для проверки длины цилиндрический ролик устанавливают на плиту прибора торцом и подводят под наконечник измерительной головки, предварительно установленной по эталону. Отклонения стрелки измерительной головки показывают отклонения размера высоты ролика.

Гранность ролика проверяется в призме, устанавливаемой на приборе В901 вместо плиты.

Биение торцов цилиндрического ролика относительно оси проверяется по схеме, показанной на фиг. 9, вращением ролика в угловой призме с прижимом



Фиг. 9. Схема измерения неперпендикулярности торца к оси у цилиндрических роликов.

его к упору, касающемуся торца ролика недалеко от фаски.

При таком методе контроля измерительная головка показывает удвоенную неперпендикулярность торца ролика к оси.

Таким же методом проверяется неперпендикулярность опорной поверхности торца к оси у конических роликов.

Из указанных параметров точности биение торцов и гранность у игольчатых роликов не проверяют. Для проверки длины игольчатые ролики укладывают в специальные втулки с отверстием и вместе с втулками подводят под наконечник измерительной головки.

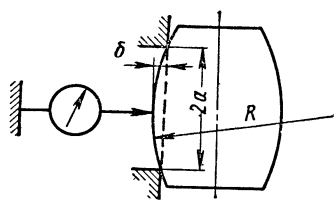
Контроль цилиндрических и игольчатых роликов трудоемок. Однако контроль и сортировка по диаметру и длине переведены на автоматы, а по остальным параметрам ролики проверяются выборочно.

Контроль бочкообразных роликов

Бочкообразные ролики — самые сложные по форме тела качения и требуют проверки наибольшего количества геометрических параметров.

Контроль диаметра, овальности, гранности, длины и биения базового (опорного) торца относительно оси ролика производят методами, аналогичными изложенным.

Особенности контроля бочкообразных роликов заключаются в следующем: проверка величины радиуса образующей поверхности качения (боковой поверхности) ролика производится на приборе Ч-671 по схеме, показанной на фиг. 10.



Фиг. 10. Схема измерения радиуса образующей поверхности качения у бочкообразных роликов.

По величине хорды $2a$ и стрелки $б$ можно определить абсолютную величину радиуса образующей по формуле

$$R = \frac{a^2 + б^2}{2б}.$$

При настройке прибора по эталонному ролику проверяется изменение величины стрелки $б$, которая при постоянной величине хорды $2a$ должна находится в заранее рассчитанных пределах. При измерениях ось стержня измерительной головки должна проходить через ось ролика, что легко достигается.

Проверка положения поперечного сечения максимального диаметра ролика относительно базового (опорного) торца производится с помощью двух предельных шаблонов. Надежных цеховых приборов для контроля этого параметра роликов пока не имеется.

Контроль сепараторов

Штампованные из листового железа сепараторы в процессе их изготовления проверяют в незначительном количестве пробками, специальными шаблонами и универсальным измерительным инструментом. Кроме того, в специальных приспособлениях сепараторы собирают вместе с телами качения для проверки

достаточности свободы шариков в гнездах змейковых сепараторов и легкости вращения колец с роликами в конических сепараторах. Для проверки внешнего качества сепараторов и правильности расположения в конических сепараторах окон для роликов конических роликоподшипников применяют визуальный контроль.

Для контроля сепараторов, которые вытачиваются из стали, чугуна, латуни и т. д., кроме приведенных измерительных средств, применяют и приборы (проверка наружного и внутреннего диаметра, высоты, разностенности).

Контроль заклепок и распорок

Выборочный контроль размеров этих деталей осуществляют шаблонами и универсальным измерительным инструментом.

Контроль биения цапф цилиндрической распорки относительно ее оси производят вращением распорки в угловой призме при расположении наконечника измерительной головки на поверхности цапфы.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ

На автоматический контроль в широком объеме переведены только тела качения как наиболее массовые детали, требующие к тому же рассортировки их на группы по размерам. Требуемая точность геометрической формы тел качения должна обеспечиваться технологически. Поэтому контролю по форме тела качения подвергаются выборочно.

В подшипниковой промышленности применяют большую номенклатуру машин для сортировки тел качения вообще и для каждого вида тела качения в отдельности. Например, для рассортировки шариков по диаметру имеется 3 модели принципиально разных машин, для цилиндрических и конических роликов — по 4 модели, для игольчатых роликов — 4—5 моделей. В главе рассматриваются лишь некоторые из них, получившие наибольшее распространение или представляющие большой технический интерес.

Сортировка шариков по диаметру

1. Наиболее распространены для рассортировки шариков так называемые линеечные машины АШ-8 и АШ-26. Они просты по конструкции и обладают высокой производительностью. Схема машин АШ-8 (двухпоточных) дана на фиг. 11.

Сортирующим устройством в машинах служат стальные закаленные линейки *1* и *2* со слегка притупленными и доведенными кромками. Линейки расположены наклонно к горизонту и образуют расширяющуюся щель между кромками. Шарики из бункера *3* через отверстия во вращающемся над его дном диске *4* падают на линейки с меньшим расстоянием между их кромками, где набирают значительную скорость движения. Попадая на рабочие участки линеек *1* и *2* с размером щели, весьма близким к диаметру сортируемых шариков, шарики значительно замедляют свое движение и проваливаются через щель между линейками в тех местах, где ширина щели равна диаметру шарика. Под щелями имеются изолированные друг от друга трубки *5*, через которые шарики попадают в соответствующие приемные ящики.

Сортировка шариков на автоматах АШ-8 и АШ-26 происходит по случайным диаметрам (не по наибольшим или наименьшим).

В машине можно рассортировать шарики на пять разных по диаметру групп. Однако производство шариков достигло такой степени совершенства, что каждая производственная партия, за редкими выпадами, представляет собой одну сортировочную группу, поэтому рассортировка на машинах имеет целью отсев этих единичных шариков. На линеечных машинах можно рассортировать шарики диаметром от 3 до 26 *мм*.

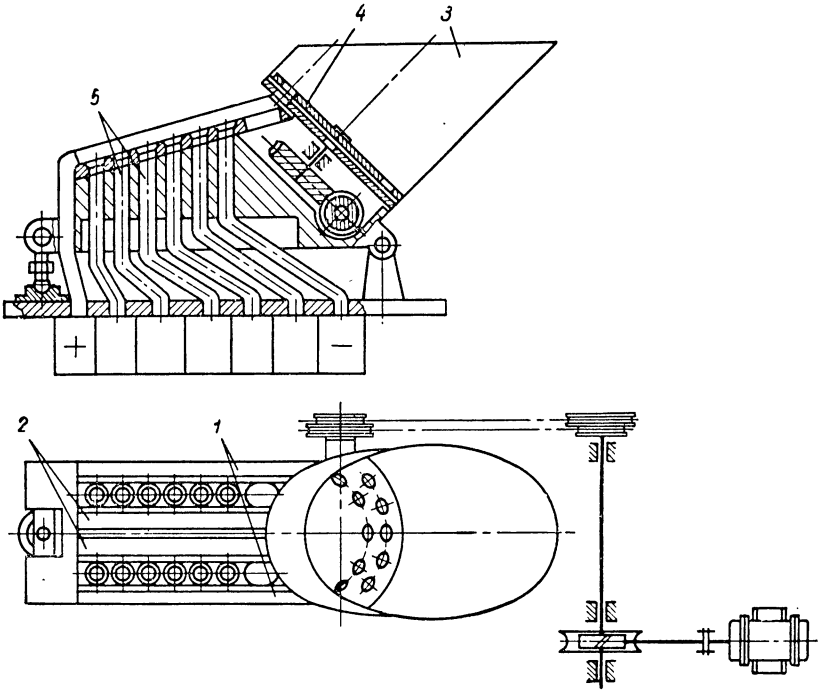
Для шариков диаметром до $^5/_{16}$—$^3/_8$″ в машинах АШ-8 имеется две пары линеек (фиг. 11).

Линейки машин могут настраиваться на необходимый сортировочный интервал (0,5 *мк* и более) по эталонным шарикам. Сортировочный интервал — разность ширины щели между кромками линеек над любой парой смежных трубок.

Производительность машины с одной парой линеек для шариков малых и средних диаметров от 10 000 до 15 000 шариков в час.

2. Для рассортировки шариков средних диаметров служат машины АШ-32 и А-1.

Их производительность значительно ниже, чем у машины АШ-26.



Фиг. 11. Сортировочная машина для шариков АШ-8 (двухпоточная).

Автоматическая отбраковка шариков с дефектами поверхности

На 1ГПЗ находятся в опытной промышленной эксплуатации малые серии двух различных моделей фотоэлектронных автоматов для отбраковки шариков по дефектам поверхности.

Назначение автоматов — заменить существующий утомительный визуальный контроль шариков.

Дефекты на поверхности шариков бывают темные (трещины, черные точки, раковины, следы шлифования и др.) и светлые (в основном заполированные срезы).

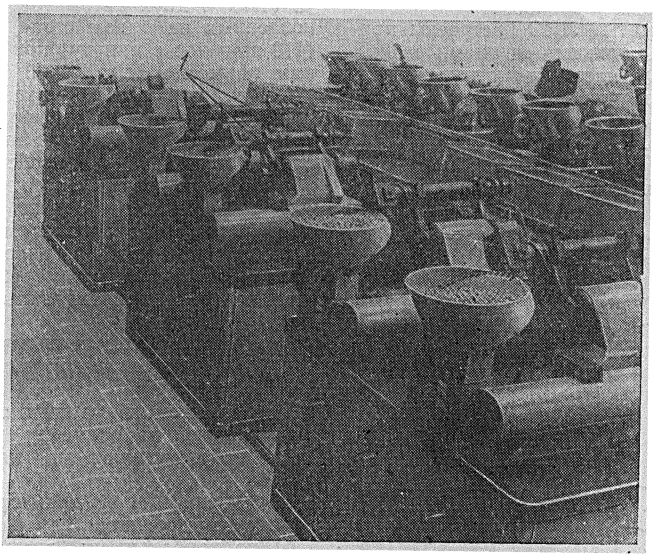
Способ обнаружения дефектов на поверхности шариков в обеих моделях автоматов, представленных на фиг. 12 и 13, один и тот же и заключается в использовании эффекта уменьшения яркости пучка света, отраженного поверхностью шарика с дефектом. Однако эти модели существенно отличаются одна от другой.

а) В автоматах различны электронные системы, преобразующие эффект снижения яркости отраженного шариком светового луча в электрический импульс, ведущий к срабатыванию органов, открывающих заслонки для направления шариков с дефектами в ящики брака.

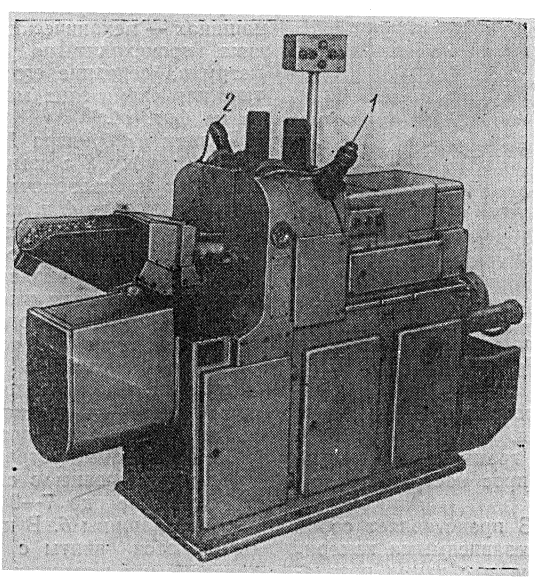
б) Для «ощупывания» световым пучком (диаметром 0,3 *мм*) всей поверхности шарика в автоматах ЛИЗ (Ленинградского инструментального завода) шарик вращается вокруг двух взаимноперпендикулярных осей, а пучок света остается неподвижным; в автоматах НИИ шарик вращается вокруг одной оси, зато пучок света также вращается вокруг оси, перпендикулярной к оси вращения шарика.

в) На измерительных позициях шарики удерживаются в автоматах ЛИЗ с помощью струи сжатого воздуха, в автоматах НИИ — роликами, приводящими шарики во вращение.

Применение в автоматах ЛИЗ сжатого воздуха ограничивает возможности



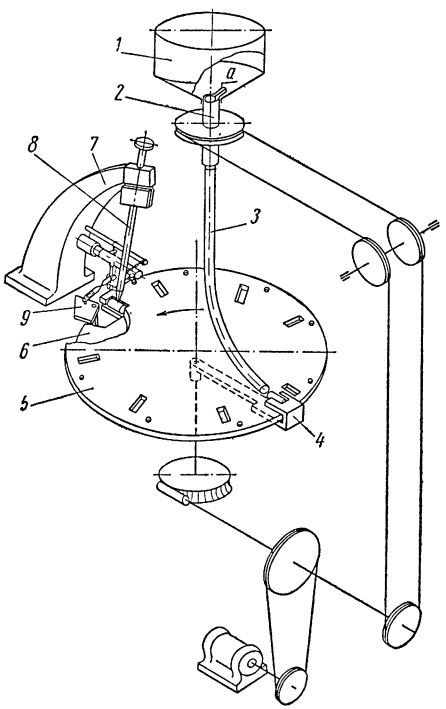
Фиг. 12. Автоматы НИИтракторосельхозмаш для контроля шариков по дефектам поверхности: *1* — вращающиеся на 190° трубы с осветительной системой. На заднем плане видны автоматы для рассортировки шариков по диаметру.



Фиг. 13. Автомат Ленинградского инструментального завода для контроля шариков по дефектам поверхности: *1* и *2* — осветительные лампы.

их применения в отношении размеров контролируемых шариков.

г) В автоматы ЛИЗ встроены приспособления с тонкими струнами разных диаметров для настройки и проверки на ходу машины чувствительности фотоэлектронной системы к размерам дефектов шариков. В автоматах НИИ нет какого-либо устройства подобного назначения, и настройку чувствительности



Фиг. 14. Кинематическая схема автоматов 4АК и 4АКБ для рассортировки коротких цилиндрических роликов по диаметру и длине.

этих автоматов производят шариками, имеющими дефекты, которые по размерам находятся на границе допустимых. Это усложняет вопрос настройки автоматов НИИ.

д) Автомат ЛИЗ представляет собой машину с двумя независимыми измерительными позициями и с двумя потоками контролируемых шариков в одном корпусе.

Автомат НИИ имеет только одну измерительную позицию.

Пропускная способность автомата ЛИЗ и двух автоматов НИИ, установленных на одном столе, одинакова (110 шариков в минуту) при занимаемой ими примерно одинаковой площади.

Основные причины, задерживающие широкое внедрение этих автоматов:

1) пропуск обоими автоматами в годную продукцию шариков с трещинами и с лысками разных видов;

2) значительный процент годных шариков, бракуемых автоматами ЛИЗ, что снижает полезную производительность этих автоматов, так как требует вторичного контроля забракованных шариков.

Сортировка цилиндрических роликов по диаметру

Для сортировки коротких цилиндрических роликов по диаметру на разных машинах применяют два метода измерений:

а) по случайному диаметру на середине длины ролика;

б) по наибольшему диаметру в случайном продольном сечении ролика.

1. Для контроля цилиндрических роликов наиболее распространены автоматы моделей 4АК и 4АКБ (ЛИЗ).

Принцип измерения роликов в этих машинах — механический. Измерение ролика происходит по случайному диаметру на середине его длины. Кинематическая схема этих машин представлена на фиг. 14.

Ролики из бункера *1* через вращающуюся трубку *2* с язычком-мешалкой *а* попадают в проволочный шланг *3*, из него в питатель *4* и, наконец, в прямоугольное отверстие диска *5*. Питатель *4* совершает непрерывное колебательное движение влево—вправо, и правильная установка питателя имеет большое значение для непрерывного заполнения отверстий в диске *5* роликами. Диск *5*, вращаясь непрерывно, подводит ролики к измерительным позициям. Ролики при этом катятся по специальным дорожкам на неподвижном круглом столе *6*.

Измерительные устройства по принципу скоб встроены в стойки *7*, которые в количестве до 7—8 штук крепятся к столу машины *6*. В нижней части стоек имеются винты с твердосплавными доведенными плоскими торцами, слегка выступающими над столом *6*, а к верхней части стоек на плоских пружинах подвешены рычаги, несущие длинные стержни *8* с микрометрической резьбой и с твер-

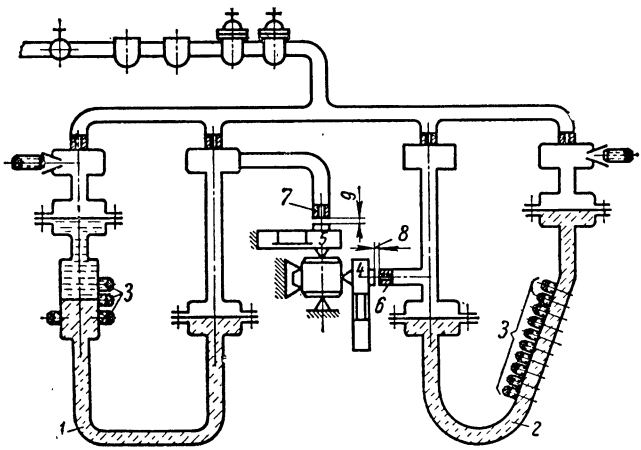
досплавным конусным наконечником, который вместе с торцом нижнего винта образует своеобразную регулируемую скобу.

Все скобы настраивают на размер через сортировочный интервал по эталонным роликам на ходу машины. Первая скоба после питателя *4* по ходу вращающегося диска настраивается на наибольший размер.

Производительность машин велика и для роликов 8×8 *мм* достигает 6 000 шт. в час.

В зависимости от точности формы роликов и от предъявляемых к ним требований сортировочный интервал в машинах может быть установлен от 1 до 3 *мк*.

Недостатком машины является большое количество измерительных позиций,



Фиг. 15. Пневматическая и измерительная схема автоматов ЯК-1 и ЯК-2 для рассортировки коротких цилиндрических роликов по диаметру и длине: *1* — манометр сортировки по длине; *2* — манометр сортировки по диаметру; *3* — электроконтакты; *4* и *5* — подвижные упоры, подвешенные на параллелограммах из плоских пружин; *6* и *7* — воздушные сопла; *8* и *9* — изменяющиеся в зависимости от диаметра и длины роликов воздушные зазоры.

Ролик, прошедший первую скобу, подходит к следующей скобе и, если диаметр ролика больше «размера» скобы, то он отклоняет немного стержень *8* в сторону, вследствие чего открывается заслонка *9* в столе *6*, расположенная непосредственно за скобой, и ролик проваливается в канал и далее — в приемный ящик. Специальное устройство в автомате обеспечивает закрытие этой заслонки и возвращение стержня *8* в исходное положение еще до подхода следующего ролика к измерительной позиции. Если ролик меньше «размера» скобы, то он проходит к следующей скобе и т. д.

Первая скоба отбирает плюсовые ролики, а ролики меньшие, чем размер последней скобы, являются минусовыми. Таким образом, на машине можно получить до 6—7 сортировочных групп роликов.

что усложняет настройку машины и уход за ней.

2. Принципиально отличающимися автоматами для сортировки коротких цилиндрических роликов являются машины моделей ЯК-1 и ЯК-2.

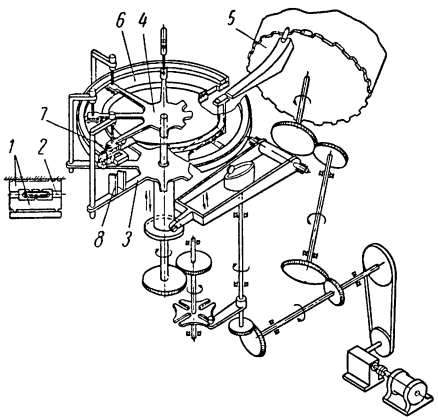
Принцип измерения в этих автоматах — пневматический (см. схему на фиг. 15). Измерение ролика производится по случайному продольному сечению.

Измерительных позиций — одна. Одновременно с диаметром в автоматах измеряется длина ролика (вдоль оси).

Основными узлами сортирующего устройства в автоматах служат трубы с контактами (манометры), заполненные ртутью, уровень которой, т. е. замыкание тех или иных контактов, зависит от давления воздуха над ртутью и соответствует некоторому диаметру и длине роликов. Контакты связаны с обмотками

соленоидов, сердечники которых совместно с другими деталями направляют измеренные ролики в соответствующие приемные ящики.

Сортировочные интервалы настройки автоматов: по диаметру до 1 *мк*, по длине 8—10 *мк*. Сортировочных групп, годных по диаметру и длине роликов, 15—16. Производительность автомата — около 2 000 роликов в час.



Фиг. 16. Кинематическая схема автомата СК-12 конструкции 1ГПЗ для рассортировки по диаметру длинных цилиндрических роликов (с цапфами и без цапф).

3. Второй метод измерения коротких роликов применен в автоматах СК-11. Здесь измерительным и сортирующим устройством служат два горизонтально расположенных неподвижных цилиндрических валика с расширяющейся щелью между ними. Измеряемый ролик попадает на эту щель, продвигается вдоль нее и проваливается в соответствующем месте (аналогично шарикам).

4. На фиг. 16 показана кинематическая схема автомата СК-12 конструкции 1ГПЗ для рассортировки по диаметру длинных цилиндрических роликов (с цапфами и без цапф).

Измерительным средством в автомате является специальная скоба, состоящая из деталей *1*, между которыми зажимаются мерные плитки *2*. Подвод роликов к измерительным позициям осуществляется крестовинами *3* и *4*, из которых первая совершает периодические движения вверх и вниз, а вторая — прерывистое вращение. Ролики из бункера *5* попадают на стойку крестовины *3*, которая при своем подъеме через прямоугольное отверстие в столе *6* выводит ролик на уровень верхней поверхности стола. Крестовина *4* с помощью поводковых вилок *7* перемещает ролик к первой измерительной позиции и устанавливает его на стойки *8* крестовины *3*. При движении вниз эта крестовина заводит ролик в измерительную скобу, и ролик проваливается через нее, если его диаметр меньше размера скобы. Если диаметр ролика больше размера данной скобы, то он вновь поднимается крестовиной *3* на уровень стола *6*, крестовина *4* перемещает ролик к следующей измерительной позиции и т. д.

Сортировочный интервал автомата 4 *мк*. Число сортировочных групп, включая плюсовые и минусовые ролики, 7. Производительность автомата — 2 000 роликов в час.

Сортировка цилиндрических роликов по длине

Сортировка цилиндрических роликов по длине производится на автоматах модели ЯК одновременно с сортировкой их по диаметру, что является большим преимуществом этих автоматов.

Автоматы ЛИЗ типа АК также пригодны для рассортировки роликов по длине, но не одновременно с рассортировкой по диаметру. И в этом случае кинематическая схема остается той же, что показана на фиг. 14, но с заменой питателя *4* и диска *5* с прямоугольными отверстиями на детали с круглыми отверстиями и изменением положения нижнего конца трубки *3* на вертикальное.

Сортировка конических роликов по диаметру

На автоматах, как и на приборах, диаметр роликов измеряется в сечении, близком к широкому торцу ролика.

В одних моделях автоматов измеряется случайный диаметр в этом сечении, в других — максимальный диаметр. Второй метод контроля точнее первого.

1. Кинематическая схема автоматов моделей 6АКБ и 6АКВ с первым способом измерения диаметра роликов представлена на фиг. 17.

Измерительным устройством в автоматах служат две горизонтально расположенные линейки *1* с расширяющейся щелью между их измерительными кром-

ками. Размер по краям щели устанавливают двумя эталонными роликами.

Ролики из бункера *2* по трубе попадают в поворотное приспособление *3*, откуда падают широким торцом вниз на наконечник ползуна *4*, совершающего возвратно-поступательное движение посредством рычажно-кулачкового устройства и груза *5*. Ползун при своем движении вправо вводит ролик в расширяющуюся щель между линейками, и ролик заклинивается под действием груза *5* в определенном месте щели, соответствующем диаметру ролика. После этого, в соответствии с циклом автомата, ползун *4* возвращается в исходное положение, а ролик выталкивается вниз опускающейся планкой *6*. Под щелью между линейками находятся каналы, через которые ролики направляются в приемные ящики.

На автоматах 6АКБ и 6АКВ ролики можно рассортировать на 12 групп, из которых две приходятся на минусовые и плюсовые ролики.

Производительность автоматов в зависимости от номинальных диаметров роликов от 1800 (6АКБ) до 1200 (6АКВ) роликов в час.

Сортировочный интервал при настройке автоматов — не менее 3 *мк*.

На точность сортировки роликов, кроме способа измерения, отрицательно влияют потеря кромками линеек прямолинейности из-за неравномерности их износа и ухудшение качества их поверхности.

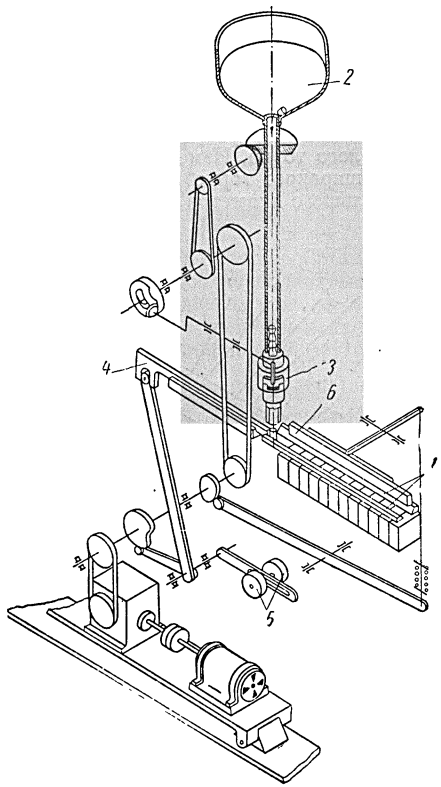
Автоматы пригодны только для роликов с плоским широким (базовым) торцом.

2. Представителями автоматов с измерением роликов по максимальному диаметру в сечении, близком к большому торцу, являются машины типа «Черутти» и АСР-3.

а) Кинематическая схема машин типа «Черутти» показана на фиг. 18.

В автоматах типа «Черутти» измерительным органом служат калибровые втулки *1* с конусным пояском шириной 3 *мм* и линейка *2*. Ролик, заталкиваемый в эту втулку малым торцом вперед, входит в нее больше или меньше в зависимости от диаметра. Втулка *1* вместе с коробкой *3*, в которой втулка удерживается только силой трения, начинают двигаться вдоль линейки *2*, кромка которой расположена горизонтально под незначительным углом к прямолинейному движению втулки.

После соприкосновения торца ролика с кромкой линейки и развития достаточной силы трения между ними втулка с роликом останавливается, а коробка *3* движется дальше до упора, после чего деталь *4* вместе с коробкой поворачивается вниз, и ролик выталкивается из втулки неподвижной планкой *5* и выталкивателем *6*. Коробка затем движется в обратном направлении с калибровочной втулкой и устанавливает ее в исходное положение. Чем меньше диаметр ролика, тем глубже входит он во втулку и тем дальше от исходного положения заклинится втулка с роликом. Вдоль линейки расположены каналы, через которые ролики попадают в соответствующие приемные ящики. Сортировочных групп в автомате — 12, из них 10 годных. Сортировочный интервал 3—4 *мк* и зависит



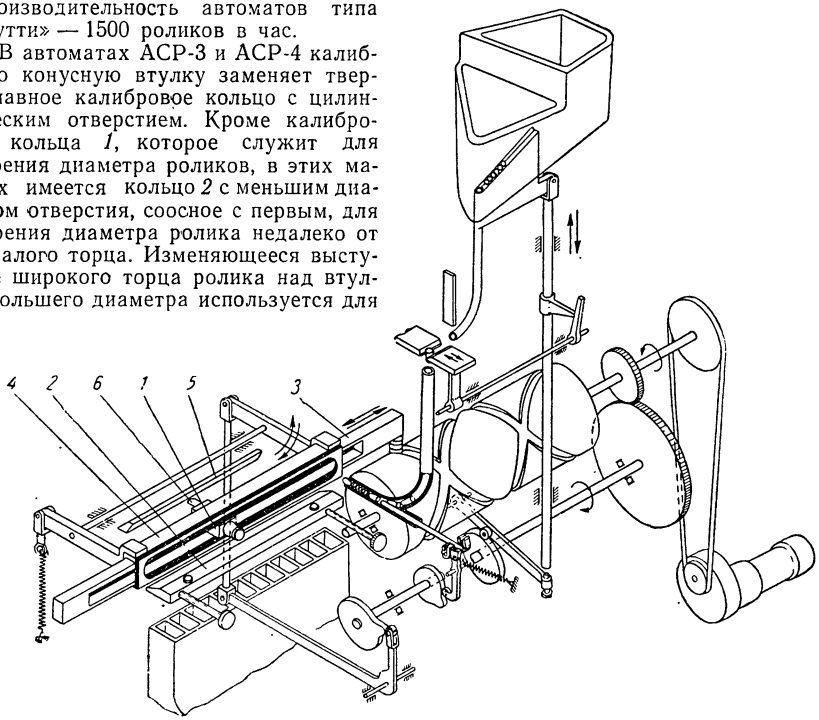
Фиг. 17. Кинематическая схема автоматов 6АКБ и 6АКВ для рассортировки конических роликов по диаметру.

от точности производственной партии роликов.

Производительность автоматов типа «Черутти» — 1500 роликов в час.

б) В автоматах АСР-3 и АСР-4 калибровую конусную втулку заменяет твердосплавное калибровое кольцо с цилиндрическим отверстием. Кроме калибрового кольца *1*, которое служит для измерения диаметра роликов, в этих машинах имеется кольцо *2* с меньшим диаметром отверстия, соосное с первым, для измерения диаметра ролика недалеко от его малого торца. Изменяющееся выступание широкого торца ролика над втулкой большего диаметра используется для

Настройка автоматов АСР-3 и АСР-4 ведется по эталонным роликам.



Фиг. 18. Кинематическая схема автоматов типа «Черутти» для рассортировки конических роликов по диаметру.

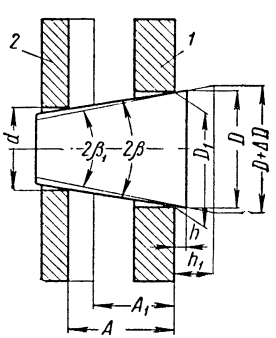
рассортировки роликов по диаметру, а изменяющееся расстояние между обоими кольцами — для рассортировки роликов по углу конуса. Эти функции выполняют два электрических датчика, посылающих команду соответствующим электромагнитам, открывающим заслонки на пути следования измеренных роликов.

Схема измерения роликов на машинах АСР-3 и АСР-4 показана на фиг. 19.

Для рассортировки роликов по диаметру в автоматах моделей АСР-3 и типа «Черутти» используется изменяющееся выступание больших торцов над втулкой — h и h_1.

В автоматах типа «Черутти», как указывалось выше, применяется узкая втулка с конусным отверстием с углом конуса, как у сортируемых роликов, вместо кольца *1* в автоматах АСР-3 и АСР-4 (фиг. 19).

Сортировочные интервалы по диаметру и углу 3—4 *мк*. Число годных сортиро-



Фиг. 19. Схема измерения диаметра и угла конуса конических роликов в автоматах АСР-3 и АСР-4.

вочных групп: по диаметру 10; по углу 3 (всего $10 \times 3 = 30$). Производительность — 3600 роликов в час, т. е. значительно выше, чем у других автоматов.

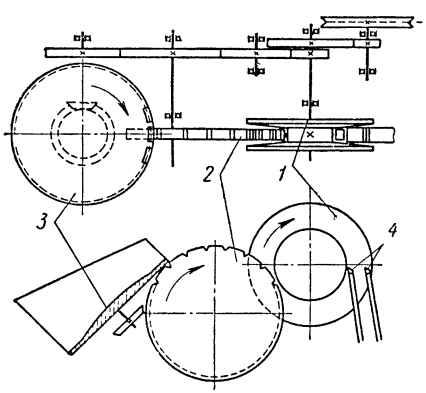
Автоматическая сортировка и контроль игольчатых роликов

1. Рассортировка игольчатых роликов на группы по диаметру производится на автоматах четырех моделей (16АК, СК-10, ДИД-3 и 62-130) с теми же принципами измерений, что и в автоматах для цилиндрических роликов.

2. Автоматический контроль игольчатых роликов по длине производится на автоматах пяти моделей (ЗАКЛ, СК-13, СК-16, ДИД-3 и 62—56). Автоматы отбирают ролики, годные по длине (в пределах допуска), плюсовые и минусовые.

Автоматы СК-16 и 62—56 имеют оригинальные методы измерений и обладают наибольшей производительностью.

а) В автомате СК-16 (см. схему на фиг. 20) измерительным устройством



Фиг. 20. Кинематическая схема автомата СК-16 для контроля игольчатых роликов по длине.

служат два вращающихся диска *1* с конусными поверхностями, обращенными одна к другой. Расстояние между дисками устанавливают по длине подлежащих контролю игольчатых роликов. Между этими дисками находится третий диск-питатель *2*, который вращается в том же направлении, что и измерительные диски.

На периферии диска-питателя имеются продольные канавки, в которые западают ролики из загрузочного бункера *3*. Выступающие за края диска *2* ролики, проходя через сужающееся пространство между коническими поверхностями измерительных дисков, слегка заклиниваются между этими поверхностями на разных расстояниях от оси вращения, в зависимости от их длины.

С измерительных дисков ролики снимаются пластинами *4*, по поверхности которых ролики скатываются в приемные ящики.

Недостаток этих машин в том, что очень много роликов не подхватывается измерительными дисками из-за перекосов или недостатка трения и падают неизмеренными, не попадая ни в годные, ни в брак.

б) В машине 62—56 в качестве измерительного устройства используются расположенные на некотором расстоянии друг от друга по окружности две стойки с натянутыми стальными струнами (тонкими проволоками). Под этими струнами проходит край непрерывно вращающегося в горизонтальной плоскости зубчатого диска с впадинами, заполняемыми роликами из бункера, которые передвигаются вместе с диском почти в вертикальном положении.

С помощью предельных по длине эталонных роликов первая по ходу диска струна настраивается по высоте на наибольшую, вторая струя — на наименьшую допустимую длину игольчатых роликов.

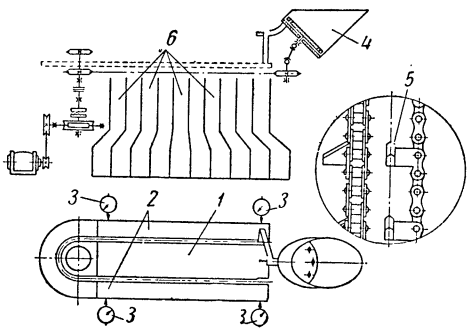
Настройка производится на ходу машины. Ролики, бо́льшие по длине (плюсовые), задерживаются первой струной, наклоняются в радиальной плоскости и падают в отверстие в столе машины. Ролики, длина которых находится в пределах допуска, задерживаются второй струной и падают в приемник, а ролики меньшей длины (минусовые) проходят под второй струной и падают в отверстие в столе под вращающимся диском.

Производительность машин СК-16 и 62—56 — до 10 000 роликов в час.

Недостаток машины 62—56 в том, что она пригодна только для игольчатых роликов со сферическими торцами.

Автоматы для сортировки бочкообразных роликов по диаметру [1]

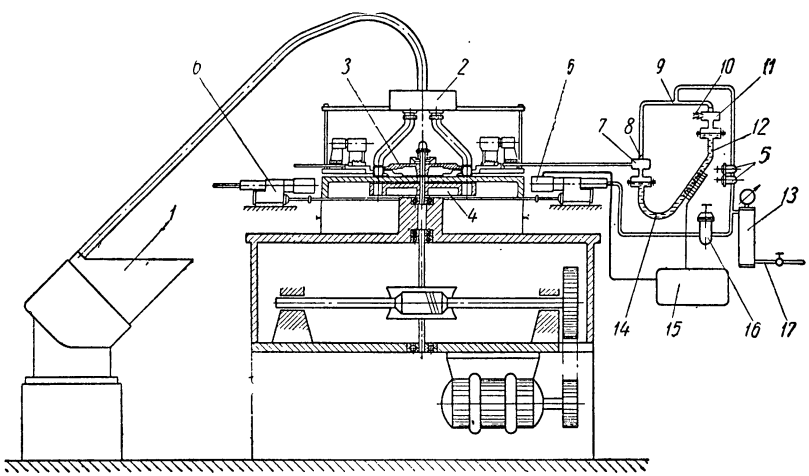
1. В автомате конструкции 6ГПЗ, схема которого показана на фиг. 21, измерительным и сортирующим устройством служат расположенные в горизонтальной плоскости стальные линейки *1* и *2* с доведенными узкими измерительными кромками. Между кромками линеек с помощью эталонных роликов и индикаторов *3* устанавливается расширяющаяся щель.



Фиг. 21. Кинематическая схема автомата 6ГПЗ для рассортировки бочкообразных роликов по диаметру.

Из бункера *4* ролики по 1 шт. попадают на конец измерительных линеек, где они провисают в щели, имеющей здесь наименьшую ширину. Ролики продвигаются затем вдоль щели пальцами *5*, представляющими собой элементы звеньев бесконечной цепи, и проваливаются в тех местах, где ширина щели равна диаметру ролика. Под щелью расположены каналы *6*, через которые провалившиеся ролики попадают в соответствующие приемные ящики. Измерение и сортировка роликов производятся только на прямолинейных участках щели.

Сортировочный интервал автомата 2 *мк*. Количество сортировочных групп (включая плюсовые и минусовые ролики) — 20.



Фиг 22. Кинематическая схема автомата ЦКБ ПП для рассортировки бочкообразных роликов по диаметру: *1* — загрузочный бункер; *2* — распределительное устройство; *3* — загрузочный диск; *4* — транспортирующий диск; *5* — редукторы; *6* — плунжеры для управления заслонкой; *7* — камера мерительного давления; *8* — головной жиклер, *9* — пневмоэлектрическая головка; *10* — вентиль противодавления; *11* — камера противодавления; *12* — вода; *13* — фильтр; *14* — ртутная камера; *15* — электроблоки автомата; *16* — редуктор; *17* — заводская сеть 5—6 *ати*.

Производительность автомата — 2400 роликов в час.

2. В автомате конструкции ЦКБ ПП (фиг. 22) применен пневматический

[1] За диаметр бочкообразного ролика принимается наибольший диаметр ролика вдоль его длины.

принцип измерения, как и в автоматах ЯК для цилиндрических роликов. За счет сокращения числа сортировочных групп в автомате, сравнительно с автоматом 6ГПЗ, осуществлено два потока сортируемых роликов для повышения производительности автомата.

Из бункера *1*, расположенного на полу помещения, ролики подаются толкателем вверх в распределительное устройство *2*, где они разбиваются на два потока. Из распределительного устройства ролики падают широким торцом вниз в диаметрально противоположные отверстия прерывисто вращающегося загрузочного диска *3*, который затем переводит ролики на измерительные позиции,— по одной для каждого потока.

Измерение диаметра роликов производится между плоскими наконечниками измерительных упоров, один из которых подвешен на параллелограмме из плоских пружин. Перемещение этих упоров в соответствии с разными диаметрами роликов сопровождается изменением расхода воздуха и его давления в ртутных манометрах *14*, в которые введены электроконтакты. Эти последние связаны с электромагнитами, управляющими пневматическими плунжерами *6*, открывающими заслонки. Измеренные ролики попадают в гнезда транспортирующего диска *4*, вращающегося над заслонками. Сортировочный интервал автомата 3 *мк*. Число сортировочных групп 12. Производительность автомата — 2300 роликов в час.

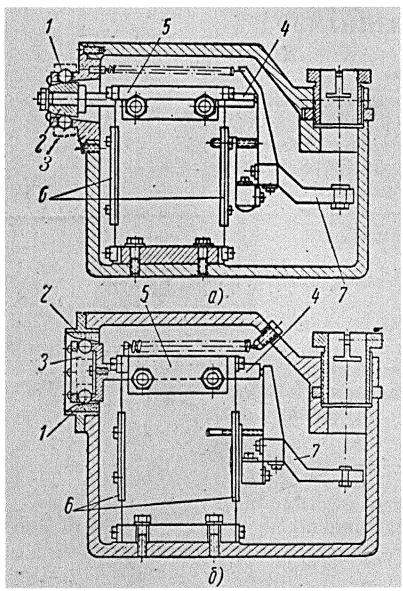
Автоматы 4ГПЗ для рассортировки колец радиальных шарикоподшипников по диаметрам желобов

На 4ГПЗ разработаны автоматы для рассортировки колец радиальных шарикоподшипников по диаметрам желобов, взамен ручной рассортировки на приборах. Эта операция производится для осуществления селекционной сборки подшипников с заданными внутренними радиальными зазорами.

Одна модель автомата (26АК) предназначена для внутренних колец, другая (25АК) — для наружных колец.

Измерение диаметров желобов колец производится с помощью комплектов шариков в специальных обоймах и конусов, наружного — для наружных колец и внутреннего — для внутренних колец.

Схема измерений показана на фиг. 23, *а* и *б* и заключается в следующем: шарики *1* с помощью конусов *2* приводятся в контакт с желобами колец *3* под некоторым измерительным давлением; разным диаметрам желобов колец соответствуют разные взаимные положения конусов и плоскостей центров шариков, т. е. разное положение стержней *4* в каретках *5*, подвешенных на плоских пружинах *6*. Изменение положения стержней *4* через рычаги *7* передается шпинде-



Фиг. 23. Схема измерений диаметров желобов в автомате 4ГПЗ: *а* — у наружных колец; *б* — у внутренних колец.

лям датчиков, которые посылают импульсы электромагнитам, открывающим заслонки на пути следования измеренных роликов.

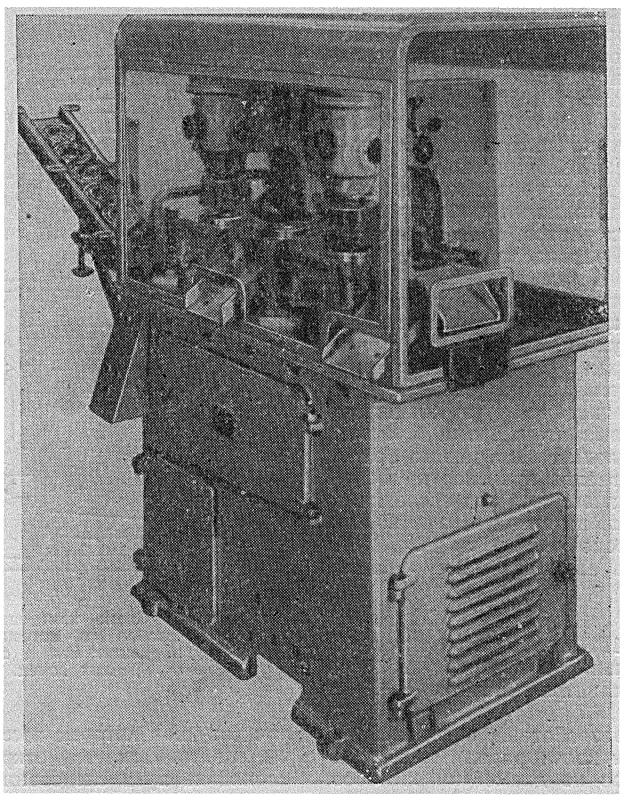
В автоматах приняты такие углы конусов, при которых изменению диаметров желобов колец на 0,002 *мм* соответствует перемещение стержней на 0,01 *мм*.

Автоматы настраиваются по аттестованным кольцам.

На автоматах можно производить как предварительную, так и окончательную сортировку колец по диаметрам желобов. Для этого в автоматах предусмотрено по два гнезда для крепления датчиков. Датчики не меняются, но контактируют с рычагами *7* в разных местах.

Измерительные конусы и опорные плоскости для шариков в обоймах во избежание быстрого износа армированы пластинами из твердого сплава. Поворотом стержней *4* в каретках *5* можно изменять рабочие участки измерительных конусов. Шарики в обоймах рекомендуется менять после трехдневной работы автоматов.

В автомате имеются две измерительные позиции. На первой позиции контролируется радиальное и боковое биение внутренних колец, на второй — радиальное и боковое биение наружных колец. Измерение биений производится по схемам, представленным на фиг. 26 и 28. Нагрузка и вращение колец осуществляется посредством вертикально расположенных двух шпинделей, которые, кроме вращательного, имеют и возвратно-поступательное движение вниз и вверх.



Фиг. 24. Автомат СК-9 конструкции 1ГПЗ для контроля биений радиальных шарикоподшипников.

Сортировочный интервал: при предварительной сортировке 20 *мк*, при окончательной сортировке 2 *мк*. Число сортировочных групп — 18. Производительность автоматов — 1200 колец в час.

Автомат СК-9 для контроля биений радиальных шарикоподшипников

На фиг. 24 представлен автомат СК-9 конструкции 1ГПЗ для контроля биений радиальных шарикоподшипников.

Результаты измерений фиксируются четырьмя амплитудными электроконтактными датчиками, передающими в случае брака через электронные блоки импульсы электромагнитам, управляющим поворотом расположенных за измерительными позициями лотков-заслонок на столе машины.

Загрузка автомата производится вручную. Подшипники, проверенные по габаритным размерам и внешнему виду, укладываются контролером на наклонный лоток, откуда они попадают на подъемный столик. Столик поднимается на уровень поверхности стола, после чего транспортирующий механизм специальными захватами передвигает подшипник к первой измерительной позиции. Соответствующим устройством подшипник устанавливается на посадочное место, расположенное ниже поверхности стола. На подшипник опускается нагружающий и вращающий его шпиндель, и производится измерение биений. Транспортирующее устройство и подъемный столик возвращаются в исходное положение.

По окончании измерений шпиндель поднимается, подшипник снова выводится на уровень стола и с помощью транспортирующего устройства передвигается ко второй измерительной позиции, в то время как к первой позиции подводится новый подшипник.

Подшипники, годные по биениям, продвигаются транспортирующим устройством к наклонному лотку в конце стола. Подшипники с завышенными биениями внутренних или наружных колец сбрасываются в сторону через поворачиваемые посредством электромагнитов лотки-заслонки.

Таким образом, автомат рассортировывает подшипники на три группы:

1) годные;

2) брак по биению внутренних колец и

3) брак по биению наружных колец.

Производительность автомата — 4800 подшипников в смену.

Диапазон габаритных размеров контролируемых подшипников:

а) диаметр внутренний от 35 до до 85 *мм*;

б) диаметр наружный от 80 до 150 *мм*;

в) высота от 18 до 31 *мм*.

Развитием автомата СК-9 явился автомат 1ГПЗ СК-23 с пятью измерительными позициями для контроля на нем, всех биений, а также наружного и внутреннего диаметра подшипников.

В первом автоматическом цехе по производству подшипников качения (на 1ГПЗ) работают встроенные в поточные линии многопозиционные автоматы, предназначенные для контроля колец по всем параметрам и собранных подшипников по габаритным размерам и биениям. В соответствии с программой цеха, контрольные автоматы имеют оснастку для проверки радиальных шарикоподшипников только одного размера и конических роликоподшипников также одного размера.

Производительность автоматов — 180—260 изделий в час.

РУЧНОЙ КОНТРОЛЬ СОБРАННЫХ ПОДШИПНИКОВ

В собранных подшипниках внутренний и наружный диаметры, ширина и непараллельность торцов колец, неперпендикулярность отверстия к торцу проверяются так же, как изложено выше.

Кроме того, в собранных подшипниках проверяют:

1) радиальное биение внутреннего кольца;

2) радиальное биение наружного кольца;

3) боковое биение внутреннего кольца;

4) боковое биение наружного кольца;

5) радиальную игру или зазор;

6) осевую игру;

7) монтажную высоту;

8) легкость вращения;

9) шумность и другие параметры для специальных конструкций подшипников

Контроль биений колец подшипников

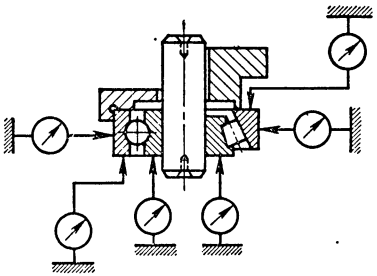
Биения колец подшипников проверяют двумя способами:

а) на оправках с небольшим конусом в центрах (фиг. 25);

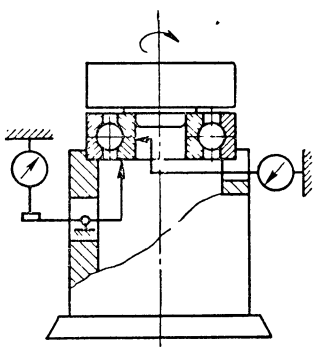
б) на специальных приборах (фиг. 26—28).

На конусных оправках в вертикальных центрах (фиг. 25) и на приборах по схемам на фиг. 26—28 проверяют биения колец радиальных и радиально-упорных шарикоподшипников и радиально-упорных конических роликоподшипников.

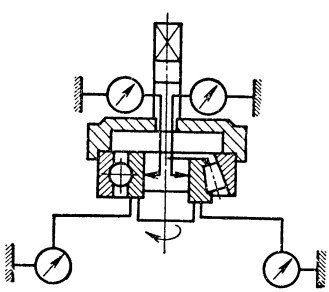
Радиальные подшипники с цилиндрическими роликами и радиальные самоустанавливающиеся шарико- и роликоподшипники проверяют по радиальному биению колец на конусных оправках в горизонтальных центрах (см. фиг. 4) (боковые биения при этом не проверяются) или на консольных цилиндри-



Фиг. 25. Схема измерения биений колец шарико- и роликоподшипников на оправке в вертикальных центрах (слева — шариковых радиальных, справа — шариковых и роликовых радиально-упорных).



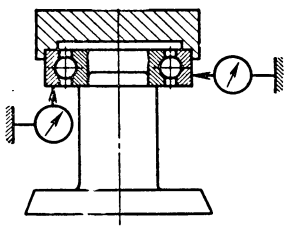
Фиг 26. Схема измерения биений внутренних колец радиальных и радиально-упорных шарикоподшипников на приборах.



Фиг. 27. Схема измерения биений внутренних колец радиально-упорных шарико- и роликоподшипников на приборах.

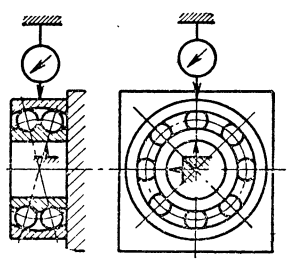
ческих оправках, или на наклонных плитах приборов (фиг. 29).

При контроле биений (по любой схеме) у того или другого кольца его вращают при неподвижном втором кольце, причем колебания стрелок соответствующих измерительных головок дают величины биений. При контроле подшипников на



Фиг. 28. Схема измерения биений наружных колец радиальных шарикоподшипников на приборах.

оправках или на плите (фиг. 29) биения обоих колец проверяют с расположением измерительных наконечников на боковой поверхности наружного кольца



Фиг. 29. Схема измерения радиального биения колец радиальных подшипников с цилиндрическими роликами и самоустанавливающихся шарико- и роликоподшипников.

(радиальное биение обоих колец) и на торце наружного кольца (боковое биение обоих колец).

При контроле биений колец подшипников на приборах по схемам на фиг. 26—28 измерительные наконечники располагают на посадочной поверхности и на торце того кольца, биения которого проверяются.

При контроле биений внутренних колец на приборах по схемам на фиг. 26 и 27 на результаты измерений радиальных биений влияет овальность отверстия, а величина бокового биения не равна его величине при контроле на оправке по фиг. 25. В допусках на радиальное биение внутренних колец влияние на него овальности отверстия не учитывается.

Допуски на боковое биение этих колец даются для контроля на оправках. Для контроля на приборах допуски на боковое биение принимаются с поправочным коэффициентом 0,6.

Контроль биений наружных колец по схемам на фиг. 25, 28 и 29 приводит к одинаковым результатам.

Преимущество контроля биений подшипников на конусных оправках в центрах в том, что при одной установке подшипника можно проверить все биения подшипника. В то же время этот метод обладает и существенными недостатками: малой производительностью и трудностью оперирования с грузами, вес которых для радиально-упорных подшипников достигает нескольких килограммов.

Кроме того, контроль на конусных оправках имеет ограниченные возможности, так как подшипники с внутренним диаметром более 100—110 *мм* на них уже не проверяют.

Контроль биения одного из колец подшипника на приборах более производителен, освобождает контролера от оперирования с грузами, так как нагрузка на подшипник осуществляется в самом приборе (пневматически или механически); он не ограничен размерами подшипников. Однако на приборе (кроме показанного на фиг. 29) могут быть проверены биения только одного кольца, в результате чего контроль биений подшипника на приборах требует в общем не меньше времени, чем контроль на оправках.

Для контроля биений собранных подшипников применяют следующие приборы:

с горизонтальными центрами для оправок — Б111 и Б122;

с вертикальными центрами для оправок — Б124;

по схеме на фиг. 26 — Б423, Б424 и Б425;

по схеме на фиг. 27 — 288;

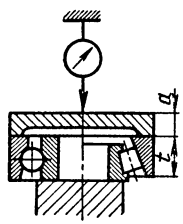
по схеме на фиг. 28 — Б323 и Б324;

по схеме на фиг. 29 — Д412, Д413.

Контроль монтажной высоты подшипников

Контроль производят на приборах Б902 и Б903 со специальными шайбами, как показано на фиг. 30.

При заранее известной толщине шайбы a монтажная высота подшипника t определяется просто. При измерениях наконечник измерительной головки должен касаться шайбы приблизительно по ее оси, а сам груз должен быть достаточно сцентрирован по наружному кольцу подшипника.



Фиг. 30. Схема измерения монтажной высоты (t) радиально-упорных шарико- и роликоподшипников.

Контроль легкости вращения подшипников

Контроль легкости вращения на специальных приборах и приспособлениях производится только у приборных подшипников. Этот контроль основан на разных методах в зависимости от специфических требований, предъявляемых к подшипникам.

Серийные подшипники, предназначенные для самого различного применения, проверяют на легкость вращения упрощенным способом без приборов: подшипник держат в одной руке, другой рукой наружному кольцу подшипника сообщают некоторую скорость вращения относительно внутреннего кольца и ждут его остановки, вследствие внутреннего торможения. Чем дольше вращается наружное кольцо и более плавно (без всяких рывков) останавливается, тем бо́льшую легкость вращения приписывают такому подшипнику. Технических условий, выраженных в цифрах, на легкость вращения этих подшипников пока не имеется.

Контроль деталей крупногабаритных подшипников

Кольца крупногабаритных подшипников (наружный диаметр свыше 500 *мм*) проверяют специальными индикаторными линейками, крупногабаритными мик-

рометрами и индикаторными нутромерами, микрометрическими штихмасами.

Эти универсальные измерительные средства настраивают по установочным мерам в специальных приспособлениях, которые аттестуются и периодически перепроверяются.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ

В подшипниковой промышленности действует нормаль, которая распространяется на наружные и внутренние кольца шариковых и роликовых подшипников, тела качения и регламентирует только максимальные отклонения по высоте шероховатостей. Наличие допустимых поверхностных дефектов на рабочих поверхностях деталей определяется сравнением их с фотоэталонами, разработанными ВНИПП.

Проверку качества поверхностей деталей подшипников на соответствие нормали производят в следующей последовательности:

1. Проверяют общее состояние поверхностей деталей визуально и под микроскопом, т. е. выявляют наличие на рабочих и посадочных поверхностях забоин и различных дефектов механического и металлургического происхождения (точек, раковин, вмятин и грубых рисок).

2. Определяют действительные значения величин шероховатостей поверхностей в трех сечениях на каждой проверяемой детали.

При измерении поверхностей берутся места, имеющие шероховатость, наиболее часто повторяющуюся в измеряемом сечении.

Величину шероховатостей определяют как среднее арифметическое из пяти замеров.

3. Измерение шероховатостей поверхности всех деталей подшипников производится поперек обработочных рисок.

В зависимости от класса точности изготовления и размеров подшипников, предъявляются и различные требования к шероховатости деталей подшипников, нормы на которую даны в табл. 1—6.

Оценку и определение величин шероховатостей в соответствии с требованиями нормали производят посредством приборов, действие которых основано на использовании метода ощупывания поверхности алмазной иглой и оптического метода.

Для метода ощупывания, используют профилометры и профилографы, для оптического метода — интерференционные микроскопы и двойные микроскопы.

Наличие дефектов на поверхности выявляют на металломикроскопах. Просмотр деталей при сравнении с фотоэталонами производится при увеличении ×30 и ×90.

Профилометры и оптические приборы имеют определенный критерий оценки и диапазон применения в зависимости от высоты шероховатостей обработанной поверхности, указанный в табл. 7.

1. Нормы шероховатости рабочих поверхностей (дорожек качения) для колец подшипников классов точности Н и П

Типы подшипников	Интервалы номинальных диаметров в *мм*				
	До 30	30—80	80—180	180—250	250—500
	Класс чистоты поверхности				
Шарикоподшипники радиальные и радиально-упорные	10	10	10	9	9
Шарикоподшипники упорные и сферические двухрядные	10	10	9	9	9
Роликоподшипники радиальные сферические двухрядные	9	9	9	8	8
Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами	9	9	8	8	8
Роликоподшипники конические	9	8	8	8	8
Роликоподшипники упорные с цилиндрическими, сферическими и коническими роликами	8	8	8	8	7
Роликоподшипники игольчатые	9	9	8	—	—
Роликоподшипники с длинными цилиндрическими роликами	8	8	8	8	8
Роликоподшипники с витыми роликами	8	8	8	8	7

2. Нормы шероховатости рабочих поверхностей тел качения для роликоподшипников классов точности Н и П

Тип роликов	Контролируемые поверхности	Номинальные диаметры роликов в *мм*			
		До 18	18—30	30—50	50—80
		Класс чистоты поверхности			
Ролики сферические	Поверхность качения	10	9	9	8
	Торец базовый	8	8	8	8
Ролики короткие цилиндрические	Поверхность качения	9	9	9	9
	Торцы	8	8	8	8
	Скосы	—	—	7	7
Ролики конические	Поверхность качения	9	9	9	8
	Торец базовый	8	8	8	8
	Скосы	—	—	7	7
Ролики длинные цилиндрические	Поверхность качения	9	9	9	9
	Торцы	7	7	7	7
Витые ролики	Поверхность качения	8	8	8	8
	Торец	7	7	7	7

3. Нормы шероховатости рабочих поверхностей (дорожек качения) колец подшипников классов точности В и А

Типы подшипников	Номинальные диаметры подшипников в *мм*				
	До 30	30—80	80—180	180—250	250—500
	Класс чистоты поверхности				
Шарикоподшипники радиальные, радиально-упорные	11	11	11	10	10
Шарикоподшипники упорные и сферические двухрядные	11	11	10	10	9
Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами	10	10	9	9	9
Роликоподшипники конические	10	10	9	9	8

4. Нормы шероховатости рабочих поверхностей тел качения для роликоподшипников классов точности В и А

Тип роликов	Контролируемые поверхности	Номинальные диаметры роликов в *мм*			
		До 18	18—30	30—50	50—80
		Класс чистоты поверхности			
Ролики короткие цилиндрические	Поверхность качения	10	10	10	9
	Торец	9	9	9	8
	Скосы	—	—	8	8
Ролики конические	Поверхность качения	10	10	9	9
	Торец	9	9	9	8
	Скосы	—	—	8	8

5. Нормы шероховатости рабочих поверхностей колец подшипников класса точности С

Типы подшипников	Номинальные диаметры колец в *мм*						
	До 3	3—10	10—30	30—80	80—180	180—250	250—500
	Класс чистоты поверхности						
Шарикоподшипники радиальные и радиально-упорные:							
внутреннее кольцо . . .	12	12	12	12	11	11	11
наружное кольцо	—	11	11	11	11	10	10
Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами . . .	—	11	11	11	11	10	9
Роликоподшипники конические	—	11	11	11	10	10	9

6. Нормы шероховатости рабочих поверхностей тел качения для роликоподшипников класса точности С

Типы роликов	Контролируемые поверхности	Номинальные диаметры роликов в *мм*			
		До 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
		Класс чистоты поверхности			
Ролики короткие цилиндрические	Поверхность качения	11	11	11	10
	Торец	10	10	10	10
	Скосы	—	—	—	9
Ролики конические	Поверхность качения	11	11	11	10
	Торец базовый	10	10	10	10
	Скосы	—	—	—	9

7. Применение приборов в зависимости от величины шероховатости

Наименование прибора	Тип прибора	Пределы классов чистоты	Критерий оценки шероховатости[1]
Профилометры	КВ-7 и др.	5—12	$H_{ск}$
Профилометры-профилографы .	Калибр ВЭИ	Как профилограф 5—14	$H_{ск}$.
Микроскоп интерференционный	МИИ-1	Как профилометр 6—12, 10—14	$H_{ср}$
Микроскоп двойной	МИС-11	3—9	$H_{ср}$

[1] Среднее квадратичное отклонение шероховатости от средней линии профиля ($H_{ск}$) и средняя из максимальных высот шероховатостей ($H_{ср}$) — наиболее часто повторяющаяся на данной поверхности. Стандарт СССР основан на определении $H_{ск}$ и $H_{ср}$.

Определение величин шероховатостей обеспечивается измерительными приборами, получившими широкое распространение в подшипниковой промышленности.

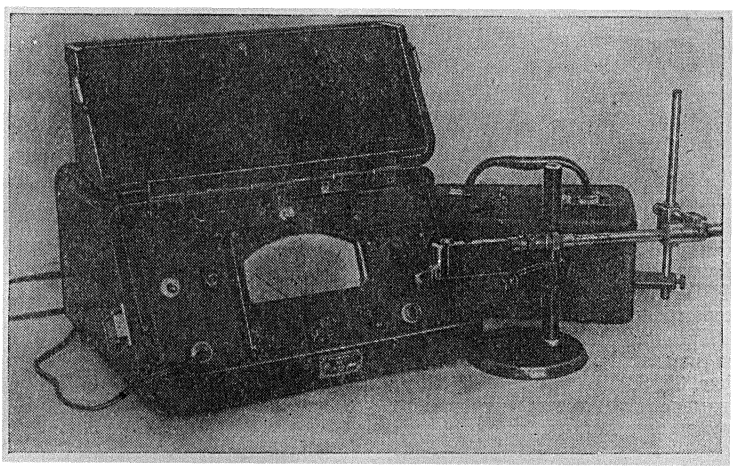
1. Электродинамический профилометр КВ-7, показанный на фиг. 31, состоит из трех основных частей: измерительной головки (датчика) с алмазной иглой, усилительного устройства (элек-

трического) и регистрирующего устройства, отсчитывающего величину неровностей.

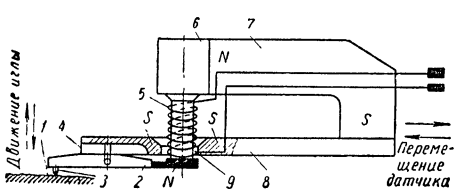
При движении измерительной головки (датчика) профилометра по контролируемой поверхности происходят вертикальные перемещения иглы, вызывающие импульсы тока в обмотке катушки (датчика) (см. схему фиг. 32). Колебания э. д. с. в задающей катушке подаются на вход усилительного устройства, где усиливаются в несколько тысяч раз и преобразуются в колебания тока анодной цепи последней лампы усилителя-интегратора так, что становятся пропорциональными амплитуде колебаний алмазной иглы.

В анодную цепь последней лампы усилителя-интегратора включается (через выходной трансформатор) регистрирующее устройство, по шкале которого определяют среднюю квадратичную величину неровностей.

Компенсационная катушка предназначена для нейтрализации влияния внешних магнитных полей на показания прибора.



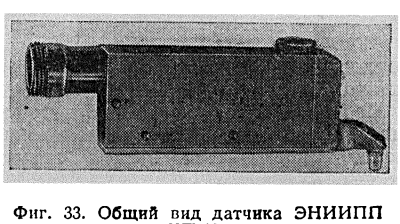
Фиг. 31. Общий вид профилометра КВ-7.



Фиг. 32. Схема датчика профилометра: *1* — ощупываемая поверхность; *2* — рычаг с иглой; *3* — игла; *4* — пружина; *5* — компенсационная катушка; *6* — сердечник; *7* — магнит; *8* — планка; *9* — задающая катушка.

Датчики к профилометрам могут быть применены в основном для измерения шероховатости на плоских деталях или поверхностях малой кривизны.

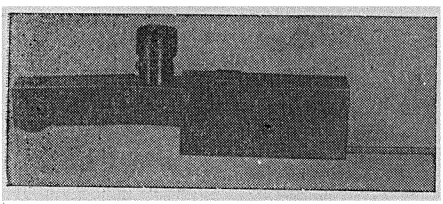
Датчик ЭНИИПП КП-23 (фиг. 33) позволяет производить измерения шероховатости поверхностей с минимальным радиусом желоба 1,7 *мм*, а также внутренних поверхностей в деталях с минимальным диаметром отверстия 12,5 *мм*.



Фиг. 33. Общий вид датчика ЭНИИПП КП-23.

Алмазная игла датчика с радиусом закругления вершины 0,012 *мм* контактирует с измеряемой поверхностью под давлением, равным 0,5 *Г*.

Датчик ЭНИИПП КП-35 (фиг. 34) предназначен для измерения шероховатостей в глубоких выточках и канавках глубиной до 5 *мм*, шариков малых размеров диаметром от 1,6 *мм*, а также отверстий диаметром около 9 *мм*.

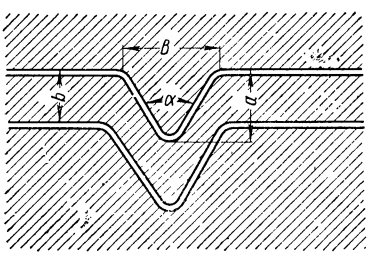


Фиг. 34. Общий вид датчика ЭНИИПП КП-35.

Устройство датчиков ЭНИИП КП-35 и ЭНИИПП КП-23 аналогично.

2. **Интерференционный микроскоп МИИ-1**. Принцип действия прибора основан на использовании интерференции света (фиг. 35, 36).

При измерении высоты неровностей деталь помещают так, чтобы риски были



Фиг. 35. Схема определения глубины и ширины обработочной риски на интерференционном микроскопе.

расположены перпендикулярно направлению интерференционных полос.

Масштаб высот неровностей, вызывающих искривление интерференционных полос, определяется длиной световой волны λ.

Расстояние между полосами равняется половине длины световой волны, т. е. 0,275 *мк*.

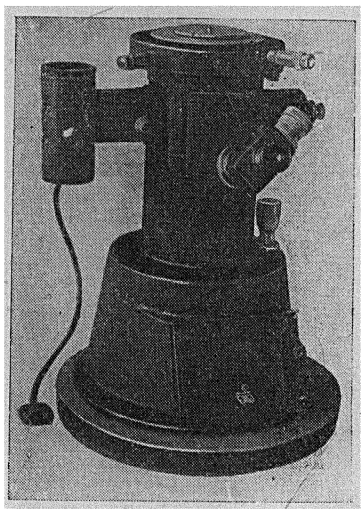
Глубина

$$H = \frac{\lambda}{2}\frac{a}{b}\ мк;$$

ширина обработочной риски

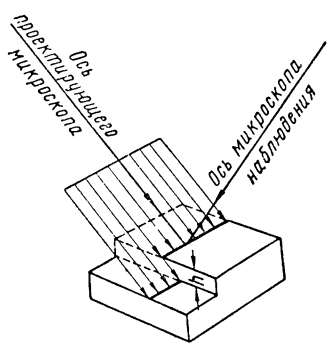
$$B = 2a\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}\ мк,$$

где $\frac{\lambda}{2}$ — половина длины световой волны; a — глубина риски; b — расстояние между двумя рисками.



Фиг. 36. Общий вид интерференционного микроскопа МИИ-1.

3. **Двойной микроскоп МИС-11** (фиг. 37, 38) представляет собой систему, состоящую из двух микроскопов: проектирующего и микроскопа наблюдения.



Фиг. 37. Схема работы двойного микроскопа.

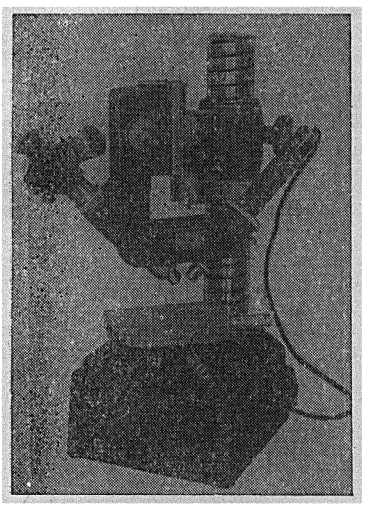
Объективы двух микроскопов спарены; оси микроскопов составляют между

собой угол 90°, причем биссектриса угла совпадает с перпендикуляром к измеряемой поверхности.

Прибор сконструирован по принципу так называемого «светового сечения».

Сущность «сечения светом» заключается в следующем.

Узкая полоска света, падая под углом на шероховатую поверхность, отражается от нее в виде полоски, изогнутой соответственно гребешкам и впадинам этой поверхности.



Фиг. 38. Общий вид двойного микроскопа МИС-11.

Высота неровностей

$$h = \frac{B}{N\sqrt{2}},$$

где B — величина изображения неровностей поверхности в плоскости сетки окуляра; N — увеличение объектива наблюдательного микроскопа вместе с дополнительной линзой.

В табл. 8 приводится набор объективов, которыми следует пользоваться в зависимости от высоты шероховатостей обработанной поверхности.

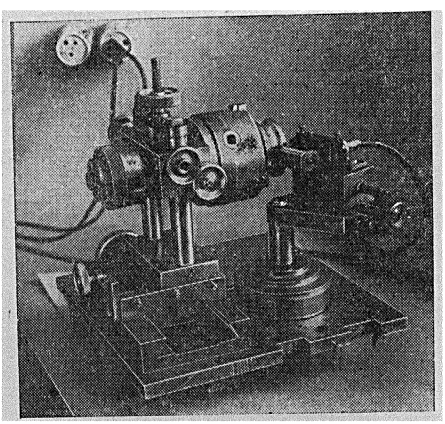
Щуповые электродинамические профилометры и оптические приборы обеспечивают измерение плоских или гладких цилиндрических поверхностей. Для обеспечения контроля шероховатостей сложного профиля, к которым относятся детали подшипников, спроектированы специальные приспособления к профилометру.

8. Выбор объектива в зависимости от высоты шероховатости

Фокусные расстояния объективов в *мм*	Апертура	Общее увеличение с окуляром 15×	Класс чистоты поверхности по ГОСТ 2789-59
25,02	0,13	88	4—6
13,89	0,30	158	7
8,16	0,37	270	8—9

а) Приспособление для измерения шероховатостей желобов наружных и внутренних колец радиальных, радиально-упорных, упорных и сферических подшипников.

Общий вид приспособления показан на фиг. 39.



Фиг. 39. Приспособление к профилометру для измерения шероховатости желобов колец.

Измеряемое кольцо закрепляется в трехкулачковом самоцентрирующем патроне, закрепленном на валу шпинделя.

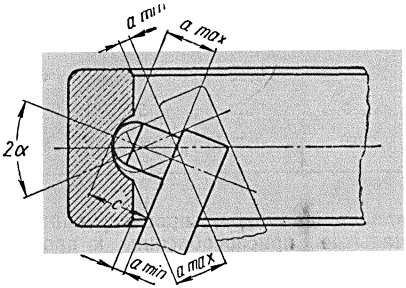
Узел с датчиком ЭНИИПП КП-23 закрепляется на основании прибора.

Принцип действия приспособления состоит в следующем.

Датчик профилометра устанавливают в державке так, чтобы ось алмазной иглы пересекла ось вращения.

Сферические опоры датчика устанавливают на уровне острия иглы.

Измеряемое кольцо подводится к опорам датчика таким образом, чтобы между опорами и поверхностью желоба оставался небольшой зазор. Поворотом



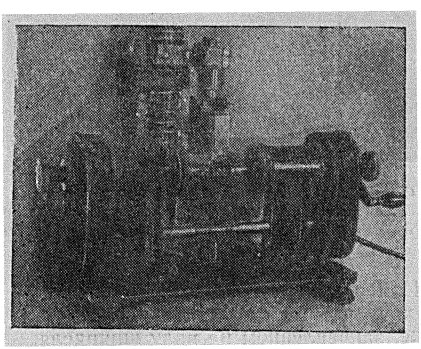
Фиг. 40. Схема измерения шероховатости желоба наружного кольца датчика ЭНИИПП КП-35.

датчика вокруг оси устанавливают положение кольца по отношению к датчику, а также радиус качания датчика.

В момент касания иглы с поверхностью кольца стрелка прибора профилометра резко отклоняется.

Поворачивая датчик вокруг оси примерно на угол 10—15°, записывают показания профилометра (см. схему фиг. 40).

Скорость перемещения алмазной иглы необходимо выдерживать в пределах около 25 *мм/сек*.



Фиг. 41. Приспособление к профилометру для измерения шероховатости шариков.

Измерение кольца производят в трех сечениях на поверхности желоба, поворачивая кольцо на соответствующий угол.

б) Приспособление к профилометру для измерения микрогеометрии шариков (фиг. 41).

Измеряемый шарик закрепляется между двумя наконечниками, один из которых ведущий, другой — ведомый.

Алмазная игла датчика подводится до соприкосновения с поверхностью шарика. Вращение шарика и наличие на нем неровностей заставляет колебаться алмазную иглу, передавая показания на шкалу профилометра.

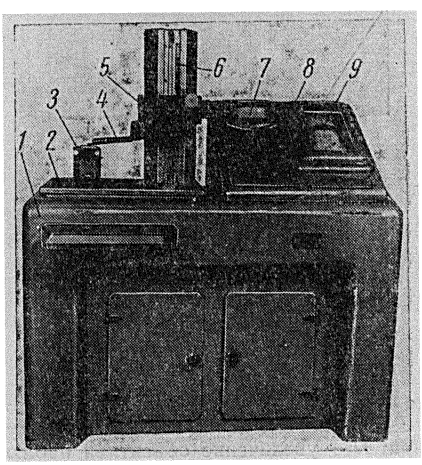
Приспособление позволяет производить измерение шероховатости шариков диаметром от 1,5 до 50 *мм*.

Для определения наличия на поверхности деталей различных дефектов применяют металломикроскопы типа МИМ-6.

Просмотр деталей и фотографирование дефектов производится при увеличении $90^{\times}$.

4. **Профилограф-профилометр «Калибр-ВЭИ»** (фиг. 42). Прибор позволяет определить:

а) величину шероховатостей, выраженных в среднеквадратичных величинах,—



Фиг. 42. Общий вид профилографа-профилометра «Калибр-ВЭИ»: *1* — стол; *2* — плита; *3* — проверяемая деталь; *4* — датчик; *5* — приводной мотор; *6* — стойка; *7* — показывающий прибор; *8* — усилительный блок; *9* — записывающий прибор.

в данном случае он работает как профилометр;

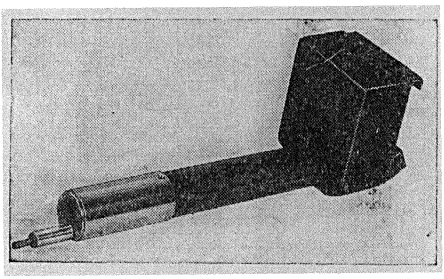
б) профиль поверхности, — в данном случае прибор работает как профилограф.

Увеличение вертикальное: 2000×, 4000×, 8000×, 15000×, 30000×, 60000×, 120000×.

Горизонтальное увеличение зависит от скорости перемещения датчика:

а) 12,5—112,5 при скорости 0,2 *мм/мин*;

б) 50—450— при скорости 0,05 *мм/мин*.



Фиг. 43. Датчик к прибору «Калибр-ВЭИ» для измерения плоских деталей.

Скорость перемещения датчика:

а) при работе прибора в качестве профилографа $v_1 = 0{,}2$ *мм/мин*, $v_2 = 0{,}8$ *мм/мин*;

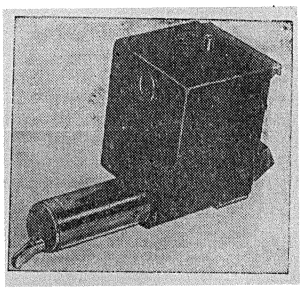
б) при работе прибора в качестве профилометра $v = 0{,}5$ *мм/сек*.

Радиус закругления алмазной иглы датчика в пределах $R = 0{,}002$—$0{,}005$ *мм*.

Давление иглы на измеряемую поверхность не должно превышать 0,1 *Г*.

При измерении шероховатости плоских деталей применяется датчик, показанный на фиг. 43.

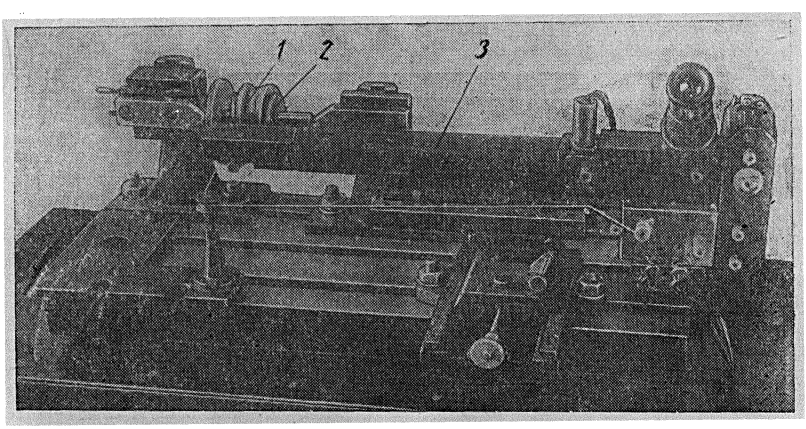
При измерении шероховатости желобов наружных и внутренних колец поперек обработочных рисок применяют



Фиг. 44. Датчик к прибору «Калибр-ВЭИ» для измерения сферических поверхностей

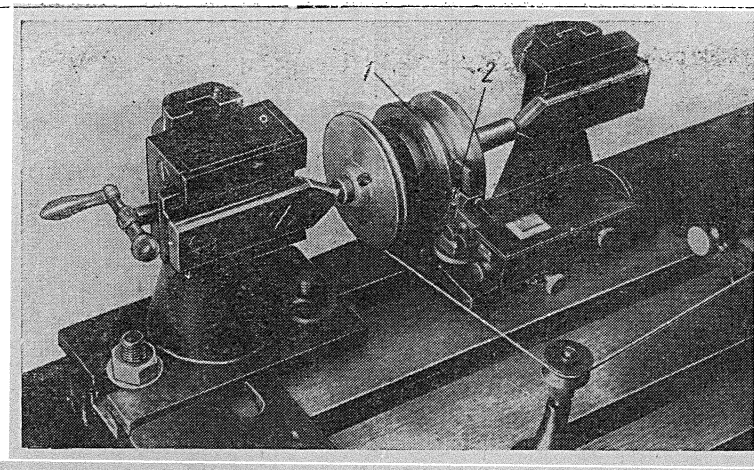
безопорный датчик, представленный на фиг. 44.

5. **Прибор для записи волнистости.** Прибор состоит из оптико-механического профилографа и приспособления для крепления кольца (фиг. 45, 46).

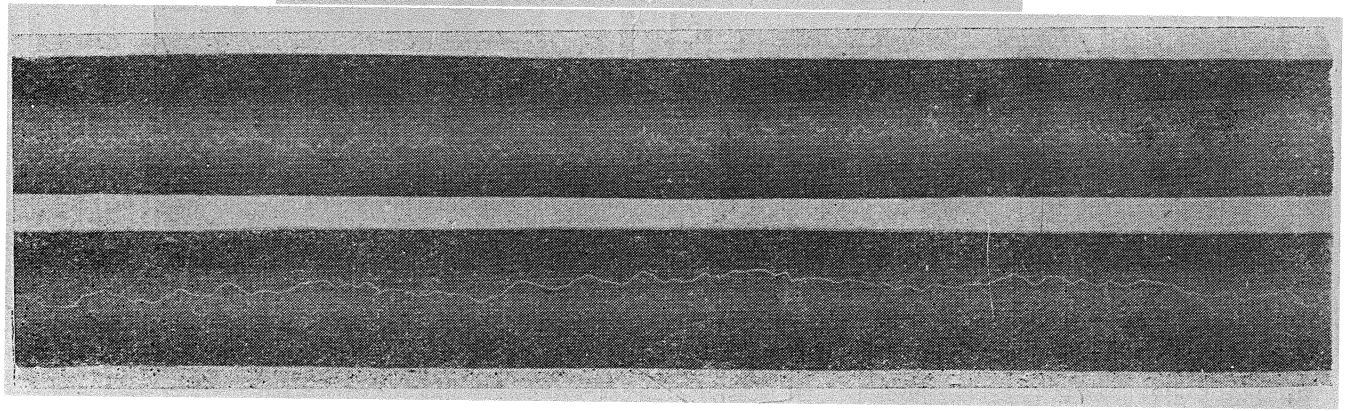


Фиг. 45. Общий вид прибора для измерения волнистости: *1* — измеряемое кольцо; *2* — приспособление для крепления кольца; *3* — профилограф.

Ощупывающая игла, контактирующая с измеряемым кольцом, на конце имеет шарик диаметром 2 *мм*.



Фиг. 46. Узел крепления кольца к прибору для измерения волнистости:
1 — кольцо; *2* — шарик диаметром 2 *мм*.



Фиг. 47. Волнограммы после шлифования и полирования.

Запись волнистости производится по дну желоба кольца по всей окружности.

Скорость вращения кольца 0,85 *мм/сек*.

Запись волнистости может производиться при различном вертикальном увеличении $\times 250 - \times 4000$.

Горизонтальное увеличение остается постоянным и равно $2^{\times}$.

На фиг. 47 показаны характерные волнограммы.

Описанные приборы и приспособления обеспечивают выборочный контроль шероховатости поверхности деталей подшипников качения всех типоразмеров.

ШУМ И ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Основные понятия прикладной виброакустики

В зависимости от рода среды, в которой возбуждается и распространяется звук, его принято в технической акустике делить на воздушный и структурный или корпусной.

В воздухе имеются лишь продольные колебания — волны сжатия, в которых направление колебаний совпадает с направлением их распространения.

Скорость распространения звука в воздухе имеет величину порядка 330—340 *м/сек*. Воздушные колебания могут восприниматься слуховыми органами человека, а также путем костной проводимости, при которой звуковые колебания передаются внутреннему уху через черепные кости. В последнем случае хорошо передаются только высокочастотные колебания.

Поток звуковой энергии создает давление, которое принято измерять в *дин/см*^{2} или, что то же самое, в барах.

Силой звука или интенсивностью звука, называется энергия, переносимая звуковой волной в единицу времени через единицу поверхности.

Для синусоидальной плоской волны сила звука

$$I = \frac{p^2}{2\rho c},$$

где p — амплитуда переменного звукового давления; ρ — плотность среды; c — скорость звука.

По ГОСТ 8849-58 установлена стандартная размерность единицы звукового давления *дин/см*^{2} и стандартная размерность единицы силы звука в *эрг/сек · см*^{2}.

Нижним порогом звукового давления считается $p_0 = 0{,}0002$ бара при частоте звука 1000 *гц*. Соответствующая порогу слышимости сила звука $I_0 = 10^{-16}$ *вт/см*^{2}.

Звуковое давление порядка 600 бар называется *порогом болевого ощущения* и соответствующая этому сила звука $I = 9 \cdot 10^{-4}$ *вт/см*^{2}.

Звуковые колебания характеризуются длиной волны λ в *м*, скоростью распространения звука c в *м/сек*, периодом одного колебания T в сек. или частотой колебаний f в герцах (1/*сек*). Эти величины связаны зависимостью:

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT,$$

где $f = \frac{\omega}{2\pi}$; ω — угловая частота.

По частоте звуки делят на три диапазона. Основным считается звуковой диапазон частот от 20 *гц* до 16—20 *кгц*, в котором человеческое ухо способно воспринимать звук.

Ниже и выше него расположены инфразвуковой и ультразвуковой диапазоны. В этих диапазонах частот человеческое ухо не реагирует на колебания среды, но эти колебания могут улавливаться специальными приборами, например шумопеленгаторными станциями.

При графическом изображении каких-либо зависимостей уровней звуков и вибраций от их частоты, учитывая большой диапазон частот, исследуемых в технике, принято откладывать по оси абсцисс величины частот не в линейном, а в логарифмическом масштабе.

К звуковым волнам может быть применен принцип наложения, согласно которому каждое звуковое колебание развивается независимо от других колебаний, имеющих место в данной точке пространства. Колебания, интерферируя в зависимости от фазы, могут взаимно ослабляться или усиливаться.

Звуковые волны огибают препятствия. Это явление называется дифракцией. Свойство дифракции звуковых волн следует учитывать при проектировании и изготовлении шумоизоляции звукометрических камер.

Отверстия и щели, особенно для волн большой длины, являются хорошими проводниками [1], [3].

Гармонические колебания определенной частоты называют чистыми тонами.

В практике обычно приходится иметь дело со смесями многих чистых тонов, которые называют сложными звуками.

Совокупность отдельных частотных составляющих сложного звука принято называть *спектром*.

По своему характеру спектры могут быть подразделены на несколько типов.

Линейчатым называют спектр, отдельные составляющие которого расположены с некоторыми частотными интервалами.

Сплошным называют спектр, составляющие которого следуют друг за другом непрерывно.

В технике приходится иметь дело с шумами, т. е. со смесью сложных звуков с весьма большим числом частотных составляющих. В шумах часто встречаются *смешанные* спектры, когда на сплошной спектр накладываются отдельные ярко выраженные тональные составляющие.

Шумы со смешанным сложным спектром в широком диапазоне частот называют *белыми шумами*.

Звуки и шумы, встречающиеся в природе и технике, по своей силе отличаются друг от друга в миллионы раз, поэтому создана шкала относительных единиц измерения уровней интенсивностей звуков или уровней звукового давления. За единицу измерения принят бел.

Бел — это логарифмическая единица отношений интенсивностей, отличающихся друг от друга в 10 раз.

Уровень интенсивности (силы) звука по отношению к выбранному нулевому уровню I_0 может быть выражен следующей формулой:

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \text{ бел.}$$

В практике для измерения уровней интенсивности удобнее использовать более мелкие единицы — децибелы. 1 децибел равен 0,1 бела.

Уровень силы звука, измеренный в децибелах, выражается формулой

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ дб.}$$

Подставляя в формулу значение I, получим

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \left(\lg \frac{p^2}{2\rho c} - \lg \frac{p_0^2}{2\rho c} \right) =$$

$$= 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ дб},$$

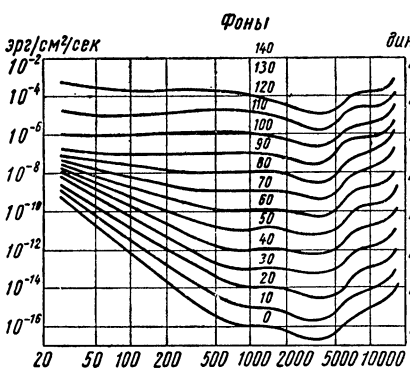
где $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ бара; $I_0 = 10^{-16}$ вт/см^2 при частоте 1000 гц.

Из этой формулы следует, что увеличение или уменьшение уровня L на 1 дб соответствует увеличению или уменьшению силы звука на 26%. Приращение уровня на 10 дб означает увеличение силы звука в 10 раз или звукового давления в 3,16 раза.

Уровень силы звука, выраженный в дб, не позволяет судить о физическом ощущении громкости, так как чувствительность человеческого слуха неодинакова к звукам различных частот. Поэтому введено понятие уровня громкости и единицы измерения уровня громкости, называемой *фоном*.

Уровень громкости в фонах какого-либо шума или звука определяется субъективным сравнением путем многократно повторяющихся опытов с громкостью звука частотой 1000 гц, для которого уровень силы в децибелах условно принят за уровень громкости в фонах.

Зависимость физиологического ощущения громкости простых звуков от силы звука и частоты представлена в виде графика, называемого «кривыми равной громкости» (фиг. 48). Из графика видно,



Фиг. 48. Кривые равной громкости (по Флетчеру и Мансону).

что количественное различие между уровнем громкости (в фонах) и силой звука (в децибелах) тем больше, чем слабее звук и чем ниже его частота. При громкости звуков более 80 фон приближенно можно считать численную величину громкости совпадающей с величиной уровня силы звука.

Современные шумоизмерительные приборы снабжены как линейной объектив-

ной шкалой уровней интенсивности звука в децибелах, так и корректированной шкалой уровней громкости в фонах.

Звуки и шумы обладают маскирующим свойством, т. е. свойством заглушать другие звуки и шумы.

Количественно маскировка определяется как число децибел, на которое в присутствии другого звука возрастает порог слышимости данного маскируемого звука. Сильные звуки частично или полностью заглушают или маскируют более слабые звуки даже в том случае, если они имеют другую тональность. Наибольшим маскирующим действием обладают интенсивные звуки низкой частоты с уровнем выше 80 *дб* и особенно белые шумы, т. е. шумы с равномерно распределенной по спектру звуковой энергией.

Шум, содержащий интенсивные составляющие в области от 800 до 3000 *гц*, оказывает наиболее сильное маскирующее действие на человеческую речь.

Для измерения уровней воздушных шумов наиболее широко используют шумомеры с электродинамическими и конденсаторными микрофонами.

Звуковая волна падает на рабочий элемент микрофона, где механические колебания воздуха преобразуются в электрический сигнал. Электрический сигнал усиливается в нескольких усилительных каскадах шумомера и поступает на измерительный прибор (обычно стрелочный прибор). Шкала прибора градуируется в единицах звукового давления и в единицах уровней интенсивности звука.

Говоря о колебательных процессах в деталях подшипника, обычно употребляют термины «вибрация» [1], [4]. Точно сформулированного определения вибраций нет. (Как известно, в технике встречается вибрация с малой и большой амплитудой, с малой и большой частотой, вибрации вредные и полезные и т. д.).

В деталях подшипников возникает несколько видов колебаний: продольные, поперечные, поверхностные и др. Поперечные колебания в кольцах и сепараторах подшипников носят изгибной характер.

Скорость распространения изгибных волн меньше скорости распространения продольных волн, которая в стали составляет 5000 *м/сек*.

Имеющимися измерительными средствами невозможно выделить тот или иной вид колебаний в деталях подшипника. Вибродатчики измеряют результирующие колебания, действующие по направлению оси датчика и получающиеся в результате взаимного наложения колебаний нескольких видов.

Вибрационный процесс характеризуется несколькими величинами: линейным или угловым смещением s, колебательной скоростью v и колебательным ускорением j.

Для гармонических колебаний

$$j = (2\pi f)^2 s.$$

Линейные смещения измеряются в миллиметрах, микронах или ангстремах ($1A^\circ = 10^4$ — *мк*). Угловые смещения измеряются в градусах, минутах, секундах и радианах. Скорости колебаний измеряются в *см/сек*. Ускорения измеряются в *см/сек*^{2} или в долях ускорения силы тяжести $g = 981$ *см/сек*^{2}.

Условно мощность вибрации оценивается величиной

$$\varkappa = \frac{j^2}{f} = 16\pi^4 s^2 f^3,$$

которая позволяет оценить действенность влияния вибрации на сооружения, детали машин, живые организмы. Единица этой величины определяется как 0,1 *см*^{2}*/сек*^{3} и называется вибрар.

Широко применяется шкала относительных единиц измерения уровней интенсивностей вибраций. Уровень вибрации в относительных величинах вычисляется по формуле

$$L = 10 \lg \frac{w}{w_0},$$

где w — мощность измеряемой вибрации; w_0 — мощность вибрации, принятая за нулевой уровень.

Величины могут быть мощностями или смещением, скоростью, ускорением.

За нулевой уровень по ускорению принята величина $3 \cdot 10^{-2}$ *см/сек*^{2} и по скорости $5 \cdot 10^{-6}$ *см/сек*. В приборе ИВПШ принят нулевой уровень по ускорению $6{,}31 \cdot 10^{-4}$ *см/сек*^{2}. В этом случае вычисляется поправка для подсчета уровней вибрации по общепринятой методике.

$$L_n = 20 \lg \frac{6{,}31 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-2}} = -33{,}5 \text{ } дб.$$

Для измерения вибрации машин широко используются вибродатчики с пьезокерамическими пластинами. Обычно

датчик работает как акселерометр. Собственная частота колеблющейся системы выбирается такой, чтобы она была выше частоты измеряемых вибраций машин. При этом напряжение, снимаемое с датчика, оказывается пропорциональным ускорению [4].

Пьезоэлементы изготовляют из кварца, сегнетовой соли, дигидрофосфата аммония, титаната бария. По совокупности всех свойств (постоянство пьезоэффекта при изменениях температуры, влагоустойчивость, прочность) пластинки из титаната бария $BaTiO_3$ более всего подходят для акселерометрических вибродатчиков для измерения вибраций машин.

Различные добавки к керамике титаната бария повышают ее пьезоэффект, который у пластин из чистого титаната бария в 2—3 раза меньше, чем у пластин из сегнетовой соли. Чувствительность датчика определяется из следующего выражения:

$$\gamma = \frac{E_0}{j_0} \; мв/g,$$

где γ — чувствительность; E_0 — амплитуда напряжения, снимаемого с датчика; j_0 — амплитуда синусоидального ускорения, выраженная в частях ускорения силы тяжести; $g = 981$ *см/сек*^{2} — ускорение силы тяжести.

Лучшие современные вибродатчики с пьезоэлементами из титаната бария обладают чувствительностью 40 *мв/g* и даже 100 *мв/g* при резонансной частоте до 40 *кгц*, линейной частотной характеристике и малом весе (20—25 *Г*).

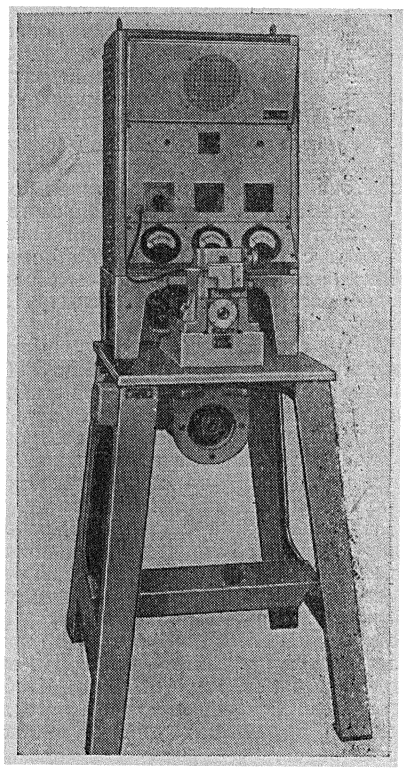
Устройство вибродатчиков обеспечивает чрезвычайно большое различие в чувствительности к колебаниям, направленным вдоль оси датчика, и к поперечным колебаниям. Это различие достигает величин порядка 20 *дб* и более.

Виброакустическая аппаратура и стенды для контроля и исследования шума и вибрации подшипников качения

Виброакустическую аппаратуру для контроля и исследования подшипников качения, находящуюся в ведении шумомерной лаборатории, можно подразделить соответственно целям, которым эта аппаратура должна служить, на следующие группы.

1. Заводская контрольная аппаратура поточных линий для контроля и отбраковки подшипников качения по шуму и вибрации.

2. Заводская контрольная аппаратура лабораторного типа для контроля шума



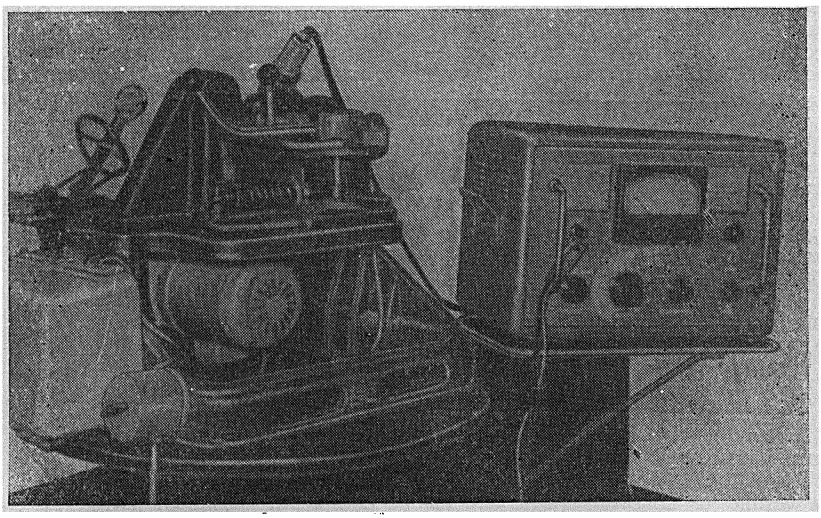
Фиг. 49. Общий вид анderометра.

и вибрации подшипников, анализа шума и вибраций, для контроля шума в цехах и вибрации узлов станков, обрабатывающих детали подшипников.

3. Виброакустическая аппаратура и испытательные стенды для лабораторий научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро подшипниковой промышленности стационарного типа и портативная, переносная аппаратура.

В отечественной подшипниковой промышленности не имеется специализированной заводской контрольной виброакустической аппаратуры для массового контроля подшипников. При создании такой аппаратуры необходимо учитывать следующие технические условия.

Контрольная виброакустическая аппаратура для поточных линий должна



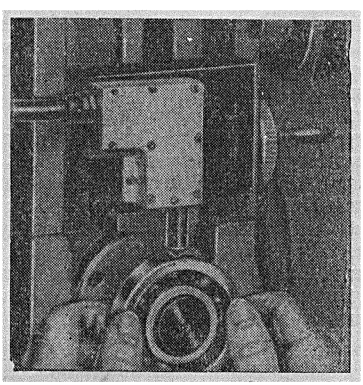
Фиг. 50. Установка ЦКБ-Ш2 для измерения шумности подшипников.

быть полностью автоматизированной, стабильной в работе, просто калибрующейся, должна иметь стрелочные указатели уровней шума и вибрации подшипников, самопишущие устройства и световую или звуковую сигнализацию. Измеряющие органы аппаратуры должны настраиваться на определенные полосы частот, характерных для типоразмера подшипников, изготовляемых на данной поточной линии.

Контрольная аппаратура должна обладать достаточной пропускной способностью для синхронной работы со всем оборудованием поточной линии.

Лаборатории подшипниковых заводов оборудуются специальными стендами — андерометрами (фиг. 49) и установками типа ЦКБ-Ш2 (фиг. 50). На андерометрах измеряется вибрация подшипников. Андерометр состоит из массивной станины со шпинделем и приводным мотором и измерительного электронного устройства. Шпиндель андерометра — тщательно отбалансированный, на прецизионных подшипниках скольжения. В шпиндель вставляют сменные оправки, позволяющие измерять подшипники различной величины и различных типов. Испытуемый подшипник насаживается руками на оправку и придерживается за наружное кольцо во время измерения (фиг. 51).

Стержень датчика прижимается к наружному кольцу подшипника пружиной с определенным усилием. В андерометрах применяют или электродинамические датчики скорости или пьезодатчики ускорения. Вибрация наружного



Фиг. 51. Измерение вибрации подшипника на андерометре.

кольца подшипника преобразуется в электрические импульсы, которые усиливаются усилителями и проходят через фильтры каналов. Электронные устройства андерометров выполняются одно-, двух- и трехканальными. На фиг. 49

представлен трехканальный андерометр с каналами низкой, средней и высокой частоты.

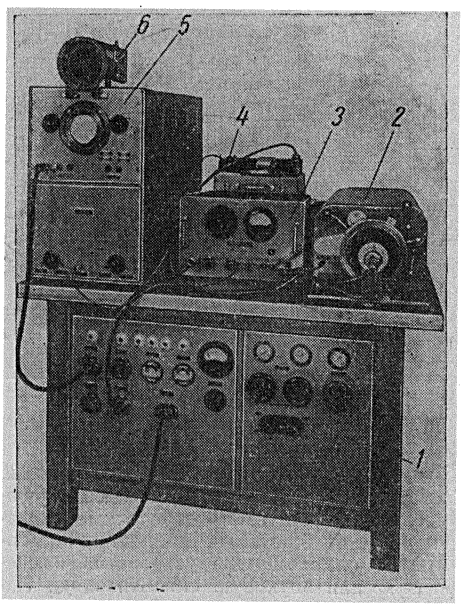
Особенность работы андерометра — в настройке его по эталонным подшипникам, которые задают нижний и верхний пределы шумности. На счетчиках каждого канала уровни спектральных составляющих вибрации подшипника выражаются в условных единицах — андеронах. Андеронное число показывает суммарную погрешность формы деталей подшипника.

Обычно андерометры, кроме счетчиков, снабжаются световыми предельными сигналами (красный, желтый, зеленый) и динамиком для прослушивания вибрации подшипника. Шпиндель андерометра может использоваться отдельно для вращения испытуемых подшипников. В этом случае в качестве измерительных приборов могут применяться МИУ, ИВПШ и другие приборы.

На установке ЦКБ-Ш2 (фиг. 50) измеряется шум и вибрация подшипников. Установка состоит из силуминовой рамы, на которой крепится поворотная плита, служащая основанием для всех рабочих узлов установки. На плите крепится узел зажима подшипника, если вращается наружное кольцо, и гиршпинделя, если вращается внутреннее кольцо подшипника. На этой же плите монтируется разгоняющий фрикционный привод, стойки микрофона и таходатчика. Подшипник разгоняется до числа оборотов, несколько превышающего заданное, затем мотор выключается. Подшипник в свободном выбеге за счет внутреннего трения и трения о воздух замедляет свое движение. Скорость вращения контролируется электромагнитным таходатчиком, соединенным с частотомером, шкала которого проградуирована в числах оборотов в минуту. При достижении подшипником заданной «мгновенной» скорости происходит измерение шумности подшипника.

Шум подшипника измеряется прибором МИУ, Ш-52 или 1400D «Dawe». Вибрация измеряется прибором ИВПШ. Спектральный анализ производится полуоктавными фильтрами ПФ-1. Установка ЦКБ-Ш2 проста в обращении и достаточно производительна, но обладает крупным недостатком, связанным с измерением шумности подшипника «на выбеге» при неустановившемся движении, без нагрузки, т. е. в условиях, далеких от реальных условий работы подшипника. Большим достоинством этой установки является отсутствие помех привода во время испытаний.

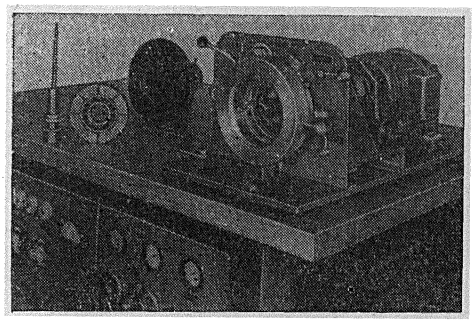
Для проведения широких экспериментальных исследований целесообразно применять стенд, показанный на фиг. 52.



Фиг. 52. Универсальный стенд для исследования шума и вибрации подшипников: *1* — пульт управления; *2* — узел привода, закрепления и нагружения подшипника; *3* — шумомер; *4* — самописец; *5* — анализатор; *6* — кинокамера.

На массивном столе установлен электрический привод со шпинделем на маслоструйных подшипниках скольжения. Исследуемый подшипник качения насаживается внутренним кольцом на сменную разжимную цангу, а его наружное кольцо зажимается специальными сменными упругими дисками (фиг. 53). На зажимном кольце вибродатчики. По оси шпинделя на специальных подставках устанавливают микрофон (фиг. 54). На этом же столе устанавливается третьоктавный анализатор с катодной трубкой и кинокамерой, шумомер с конденсаторным микрофоном, самописцем уровней шума и магнитофон МАГ-8 для записи шума и вибрации на ленту. В нижней части стола находится пульт управления с пусковыми кнопками, реостатом регулировки числа оборотов мотора и манометрами давления масла и радиальной

нагрузки исследуемых подшипников. В столе смонтированы маслобак, электропроводка и маслораспределительная система, а также имеется отсек для хранения запасных частей.



Фиг. 53. Электропривод универсального стенда для исследования шума и вибрации подшипников и детали зажима подшипника.

Радиальная нагрузка подшипников осуществляется гидроцилиндром, смонтированным в столе под механизмом зажима испытуемого подшипника.



Фиг. 54. Размещение вибродатчиков *1* и *2* и микрофона *3* на универсальном стенде для исследования шума и вибрации подшипников.

Масло для маслоструйных подшипников шпинделя и для гидроцилиндра подается из маслобака шестеренчатым насосом. Постоянство числа оборотов исследуемого подшипника поддерживается специальным двухплечим тиратронным регулятором. Маслонасос, регулятор оборотов мотора и выпрямитель выносятся в отдельную комнату во избежание создания звуковых и электрических помех.

Кроме указанных шумо- и виброизмерительных приборов, в шумомерных научно-исследовательских лабораториях применяют приборы МИУ, ИВПШ, систему измерителей 1400D, 1401DX, 1402C фирмы «Dawe», универсальный комплект аппаратуры типа 2311 или 3310, а также 3320 с микрофонами 4111 и вибродатчиками 4308, 4309 фирмы «Brüel — Kjaer».

Кроме специальной виброакустической аппаратуры и стендового оборудования для контроля и исследования шума и вибрации подшипников, шумомерная лаборатория должна быть оснащена вспомогательным оборудованием, к которому следует отнести: катодные осциллографы типа Э0-7 и шлейфовые осциллографы МПО-2, ламповые вольтметры типа МВЛ-2 или 2407 «Brüel — Kjaer», приборы для контроля радиоламп типа ИЛ-14, частотомеры типа ИЧ-6, звуковые генераторы типа ЗГ-10 или 1014 «Brüel — Kjaer», тензостанции для статических и динамических измерений, тесторы типа АВО-5М1, магазины сопротивлений типа МСР-55, стабилизаторы напряжения типа УСН-350, автотрансформаторы типа ЛАТР-2А и ЛАТР-9А, мосты постоянного тока МО-56.

В лаборатории должны быть все необходимые материалы, запасные части и инструмент для ведения ремонтных и экспериментальных работ по виброакустическому и стендовому оборудованию.

Технические данные приборов для измерения и анализа воздушного шума и вибраций

1. МИУ — многоканальная измерительная установка с пятью электродинамическими микрофонами (фиг. 55), предназначенная для измерения уровней интенсивности шума в воздухе в диапазоне частот от 60 до 8000 *гц*, в пределах от 46 до 150 *дб*. МИУ позволяет производить измерения в пяти различных точках, удаленных от прибора на расстояние до 40 *м*.

За нулевой уровень принято звуковое давление $2 \cdot 10^{-4}$ бара. Неравномерность сквозной частотной характеристики в диапазоне от 60 до 8000 *гц* не более 6 *дб*. Динамический диапазон дополнительного выхода 50 *дб* с напряжением до 3 *в*. Предусмотрено гнездо для включения внешних фильтров ПФ-1.

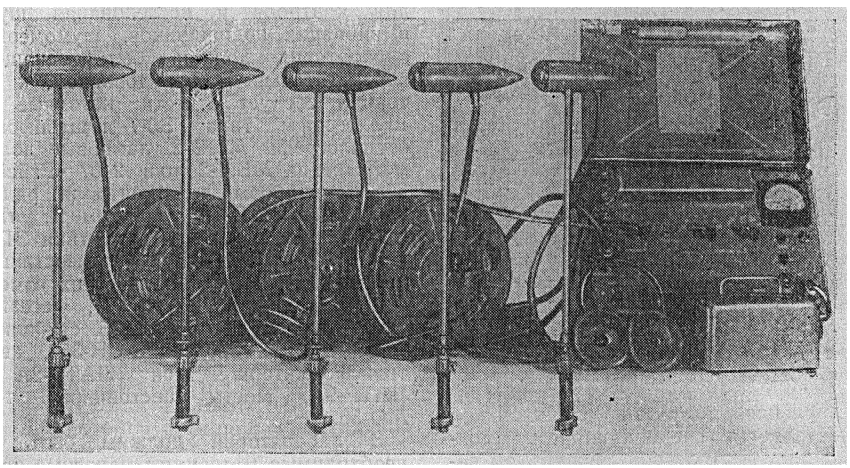
МИУ калибруется шариковым калибратором. Питание прибора — батарейное

2. ПФ-1 — полуоктавные фильтры (фиг. 56). ПФ-1 предназначен для частотного анализа методом отдельных полос в комплекте с измерительными приборами.

Диапазон частот от 50 до 10 000 *гц* покрывается шестнадцатью фильтрами. Входное и выходное сопротивление прибора 60 *ом*. Максимально допустимая амплитуда сигнала, подаваемого на

рений служит виброщуп ВЗЧ с пьезоэлементом из титаната бария.

Линейность частотной характеристики виброщупа с отклонением ±3 *дб* обеспечивается в диапазоне частот от 50



Фиг. 55. МИУ — многоканальная измерительная установка.

вход фильтра, не должна превышать 10 *в*. Фильтр работает при температуре от — 20 до + 50° С и относительной влажности до 80%.

3. ИВПШ, показанный на фиг. 57, предназначен для измерения вибраций в звуковом диапазоне частот. В качестве виброприемника применяется виброщуп ВЗЧ. Прибор может работать с записывающей и анализирующей аппаратурой. Диапазон частот 50—10 000 *гц*. Чувствительность не менее 16 *мкв*.

ИВПШ измеряет: а) ускорения от 0,6 до $6{,}5 \cdot 10^3$ *см/сек*^{2}; б) скорости: от 10^{-3} до 10 *см/сек* на частоте 10 *гц*, до 1,25 *см/сек* на частоте 800 *гц*, до 0,1 *см/сек* на частоте 10 000 *гц*.

ИВШП измеряет среднеквадратичные значения поступающего на вход сигнала с точностью до 1,5 *дб*. Шкала прибора отградуирована от —4 до +10 *дб*.

За нулевой уровень принято ускорение, равное $6{,}31 \cdot 10^{-4}$ *см/сек*^{2}, отличающийся от нулевого уровня других аналогичных приборов. Поэтому при пересчете на показания других виброметров, где нулевой уровень равен $3 \cdot 10^{-2}$ *см/сек*^{2}, вводится поправка — 33,5 *дб*.

Прибор калибруется электрическим способом на частоте 500 *гц*. Питание прибора — батарейное. Приемником ускодо 6000 *гц* с подъемом до 12 *дб* в диапазоне 6000—10 000 *гц*.

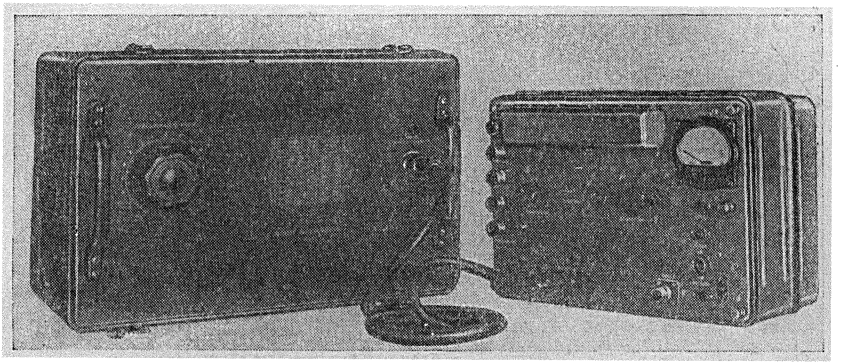
В случае применения виброщупа со стержнем, в ИВПШ включается режущий фильтр РФ-800, позволяющий измерять вибрации с частотой, не превышающей 800 *гц*. Чувствительность виброщупа 35 *мв/g*. Работоспособность датчика сохраняется до температуры 50—60° С.

4. 1400D «Dawe» — шумомер (фиг. 58). Шумомер 1400D предназначен для измерения уровней интенсивности шума в воздухе. Шумомер снабжен чувствительным пьезоэлектрическим микрофоном. Прибор измеряет шумы с частотой от 25 до 8000 *гц* в диапазоне уровней от 24 до 140 *дб*.

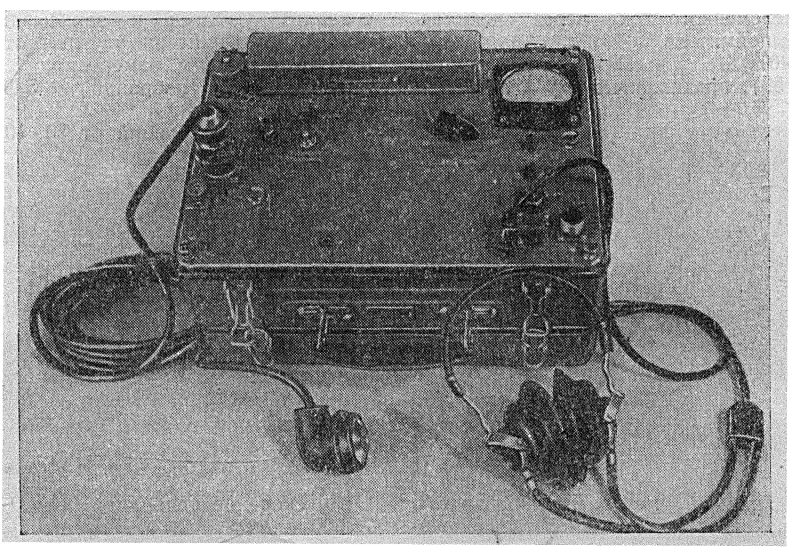
Аттенюатор имеет 11 ступеней от 30 до 130 *дб* по 10 *дб*. Индикаторный прибор градуирован от —6 до +10 *дб* и имеет линейную шкалу.

Нелинейность сквозной частотной характеристики С не более ±5 *дб*. В приборе предусмотрены корректирующие цепи, позволяющие оценивать шумы согласно кривым равной громкости.

Шумы с уровнями ниже 55 *дб* измеряют по шкале А 40 *дб*, шумы с уровнями от 55 до 85 *дб* — по шкале В 70 *дб* и шумы с уровнями свыше 85 *дб* —



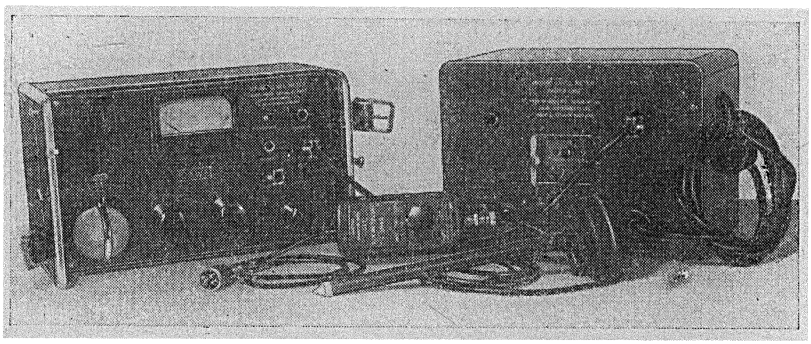
Фиг. 56. ПФ — полуоктавный фильтр. ПФ-1 включается в гнездо «Фильтр» на приборе МИУ или ИВПШ.



Фиг. 57. Измеритель вибраций ИВПШ с вибродатчиком «ВЗЧ» и головной телефон.

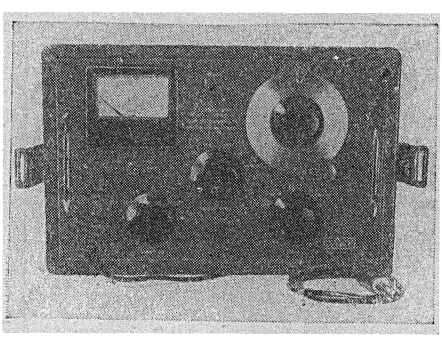
по шкале С «Flat». При использовании соответствующего конденсаторного микрофона обеспечивается линейная характеристика измерительного тракта в диапазоне частот от 25 до 20 000 *гц*. За нулевой уровень принято звуковое давление $2 \cdot 10^{-4}$ бара. Прибор калибруется от сети переменного тока.

Питание прибора — батарейное или от сети переменного тока через специальный выпрямитель.



Фиг. 58. Шумомер 1400 D «Dawe» с блоком питания от сети переменного тока, вибродатчиком VP-3 и интегратором 1404.

5. 1401DX «Dawe» — анализатор (фиг. 59), предназначенный для частотного анализа методом скользящего фильтра с постоянной относительной полосой пропускания в комплекте с измерительными приборами.



Фиг. 59. Анализатор 1401DX «Dawe».

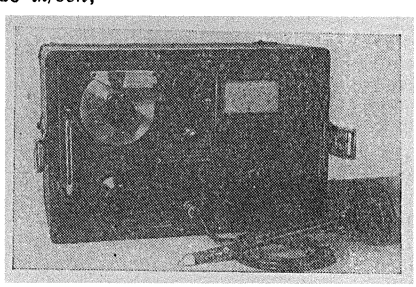
Диапазон частот от 25 до 8000 *гц* перекрывается пятью поддиапазонами. Индикатор интенсивности гармоники — стрелочный с логарифмической шкалой. Шкала градуирована в процентах от 1 до 120% и в децибелах от —40 до +2 *дб*. Точность отсчета ±1 *дб*. Входное допустимое напряжение 10 *в*. Входное сопротивление прибора 15 000 *ом*. Питание прибора — батарейное.

6. 1402C «Dawe» — виброметр (фиг. 60), предназначенный для измерения вибраций в инфразвуковом и звуковом диапазонах частот. Виброприемником является виброщуп VP-3.

Прибор может работать в сочетании с анализирующими и записывающими приборами. Диапазон частоты от 2 до 1000 *гц*. Пределы измерения:

а) амплитуды вибраций от $5{,}06 \cdot 10^{-5}$ до 75 *см*;

б) скорость вибраций от $50 \cdot 10^{-5}$ до 760 *м/сек*;



Фиг. 60. Виброметр 1402C «Dawe».

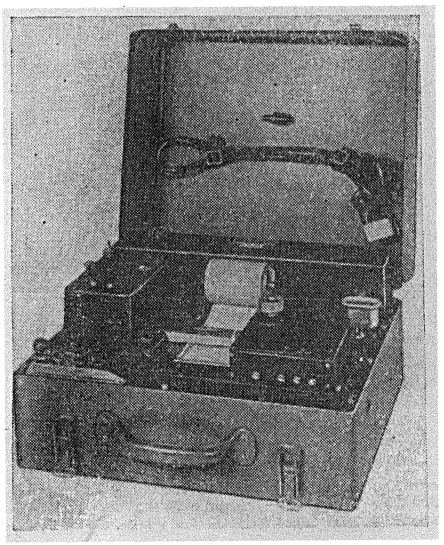
в) ускорение вибраций от 0,50 до 75 900 *см/сек*^{2}.

За нулевой уровень принято ускорение $3 \cdot 10^{-2}$ *см/сек*^{2}. Питание прибора — батарейное.

7. Самописец уровней «Нейман» (фиг. 61) предназначен для логарифмической записи величин напряжений. Диапазон измеряемых частот от 30 до 20 000 *гц*. Прибор снабжен тремя сменными потенциометрами: I — от 0

до 25 *дб*, II — от 0 до 50 *дб*, III — от 0 до 75 *дб*.

Погрешность измерения при 1000 *гц* составляет 2%. Минимальное входное напряжение 10 *в*. Скорость передвижения бумаги 1; 10; 50 *мм/сек*.



Фиг. 61. Самописец уровней «Нейман».

8. 2311 «Brüel — Kjaer» — спектрограф частоты звука (фиг. 62). Прибор 2311 состоит из спектрометра типа 2109 или 2110 и самописца уровней типа 2304.

Спектрометр 2109 содержит 27 третьоктавных нерегулируемых полосовых фильтров в диапазоне частот от 40 до 16 000 *гц*. Спектрометр измеряет уровни шумов и вибраций в пределах 20—160 *дб*.

За нулевой уровень при измерении воздушного шума принято звуковое давление $2 \cdot 10^{-4}$ бара и при измерении вибраций принято ускорение $3 \cdot 10^{-2}$ *см/сек*^{2}. К прибору прилагаются дополнительные фильтры до 32 000 *гц*.

В приборах 2110 предусмотрены фильтры до 32 000 *гц*. В приборе имеется чувствительный входной усилитель, к которому подключаются микрофон 4111 или вибродатчики 4308 или 4309 с входным усилителем 1606. Прибор соединяется передачей с самописцем 2304, и переключение фильтров может осуществляться автоматически. Спектрометр снабжен переключателем диапазонов со ступенями 10 *дб*.

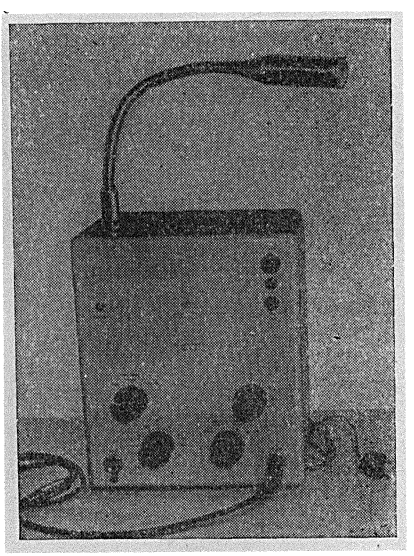
Питание от сети переменного тока.

Самописец уровней 2304 предназначен для быстрой записи спектрограмм шу-

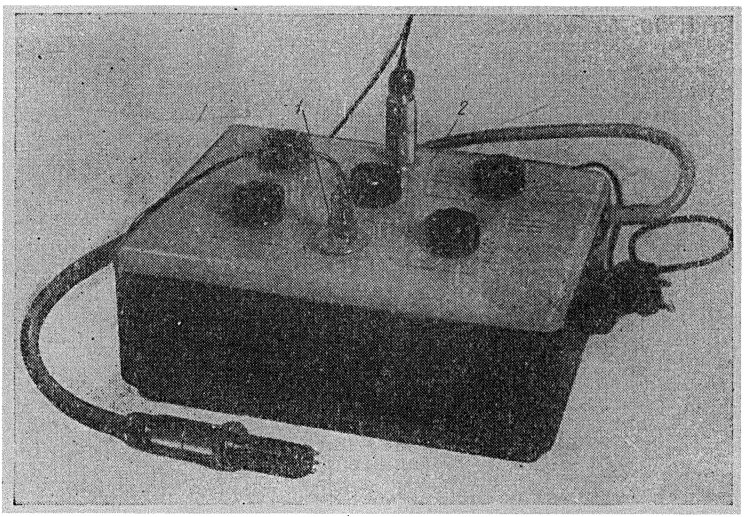


Фиг. 62. Спектрограф 2311 «Brüel — Kjaer».

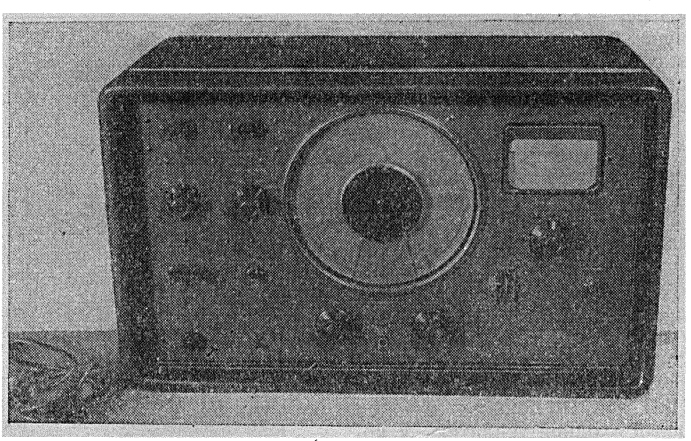
ма и вибраций. Прибор имеет девять скоростей записи в пределах 50—



Фиг. 63. Микрофон 4111 (1) и микрофонный предварительный усилитель 2601 (2) «Brüel — Kjaer».



Фиг. 64. Вибродатчик 4308, установленный на калибровочном столике предварительного усилителя 1606 «Brüel — Kjaer»: *1* — вибродатчик; *2* — предварительный усилитель.



Фиг. 65. Анализатор *TF* 455E «Marconi».

1000 *мм/сек*. Предел частоты 20—200 *кгц*. Снабжается семью сменными



Фиг. 66. Магнитофон МАГ-8мII с приспособлением для кольцевания пленки.

потенциометрами от 10 до 75 *дб*. На самописце можно получать десять скоростей движения бумаги.

9. 4111 «Brüel — Kjaer» — конденсаторный микрофон (фиг. 63).

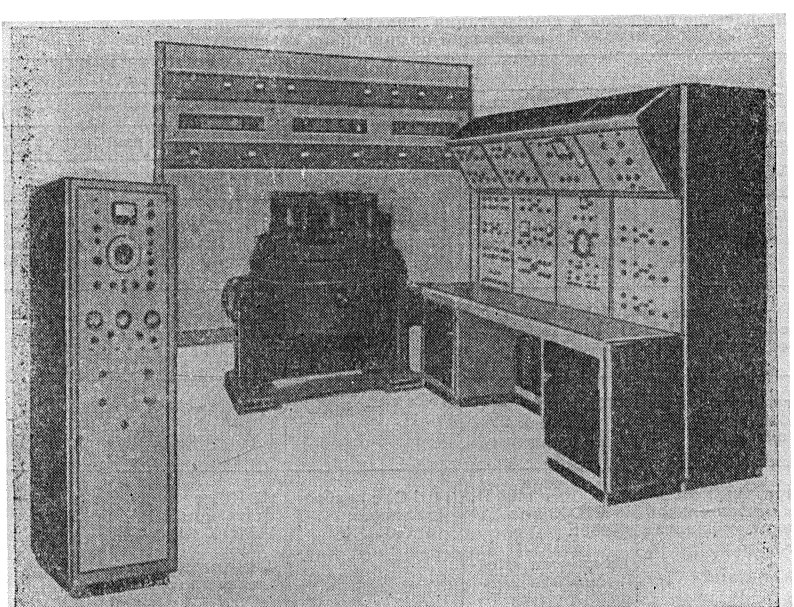
Частотная характеристика микрофона — линейная в пределах 25—10 000 *гц*. Первый каскад усиления смонтирован в капсюле микрофона.

Микрофон 4111 может работать с приборами 2109, 2110, а также с микрофонными усилителями 2603 или 2601 и 2602.

10. 4308, 4309, 4348, 4349 «Brüel — Kjaer» — вибродатчики (фиг. 64). Вибродатчики указанных типов имеют резонансную частоту от 25 до 50 *кгц*, они малогабаритные, высокопрочные, с пьезопластинкой из титаната бария. Вес датчика 25 *Г*.

11. 1606 «Brüel — Kjaer» — входной (предварительный) усилитель (фиг. 64) для вибродатчиков 4308, 4309 имеет двухступенчатый усилитель с двумя простыми и тремя интегрирующими цепями. В приборе имеется калибровочный столик для вибродатчика. Питание — от сети переменного тока.

12. TF455E «Marconi» — анализатор (фиг. 65), предназначенный для точных измерений абсолютных и относительных уровней интенсивности отдельных компонент сложных волновых процессов, в том числе шумов и вибраций.



Фиг. 67. Стенд для калибровки виброизмерительных трактов в звуковом диапазоне частот.

Полоса пропускания анализатора равна 4 *гц* во всем диапазоне измеряемых частот от 20 до 16 000 *гц*. Величина подаваемого на вход анализатора напряжения может колебаться от 30 до 300 *мв*.

Анализатор позволяет измерять относительные уровни интенсивности в пределах 0—90 *дб*.

Шкала стрелочного прибора градуирована в децибелах от 0 до 30 *дб* и в милливольтах от 0,3 до 300 *мв*. Аттенюатор прибора имеет семь позиций: 60, 50, 40, 30, 20, 10 и 0 *дб*.

13. МАГ-8мII — магнитофон (фиг. 66), предназначенный для однодорожечной записи электрических сигналов на ферромагнитную ленту МАГ-8мII удобен для записи шума и вибраций подшипников качения. Запись производится на кольцевую ленту. Для кольцевых лент к магнитофону изготовляется простое приспособление в виде двух кронштейнов с роликами. Диски стопорятся.

В аппарате предусмотрено два отдельных усилителя для записи и воспроизведения. Скорость движения ленты 190,5 *мм/сек*. Полоса записываемых и воспроизводимых частот от 50 до 10 000 *гц*. Коэффициент нелинейных искажений сквозного канала, измеренный на частоте 400 *гц*, не более 5%.

Относительный уровень шумов не более 35 *дб*. Плавание звука не более ±0,6%. Номинальная мощность на выходе не менее 2,5 *вт*.

14. Вибростенды для калибровки виброизмерительных трактов (фиг. 67) — сложные, дорогостоящие агрегаты, занимающие значительную рабочую площадь и требующие специально подготовленных фундаментов (до 10 *т* и более).

Стенды, калибрующие по низким частотам (до 80—100 *гц*), имеют механический привод вибростола, вибрация которого создается задаваемым дисбалансом вращающегося маховика. Применяется также электродинамический способ раскачки стола.

Стенды, калибрующие в звуковом диапазоне (от 50 до 10 000 *гц* и выше), снабжены мощными электромагнитными вибраторами, которые питаются через специальные усилители от звуковых генераторов, задающих требуемую частоту вибрации.

Калибровочные стенды целесообразно распределять по отраслям промышленности, где практикуется виброизмерение, и по крупным промышленным центрам. Назначение приборов и комплектация различных шумо- и виброизмерительных и анализирующих трактов даны в табл. 9.

9. Назначение приборов и комплектация трактов для измерения уровней и анализа шума и вибраций подшипников качения

Вид измерения	Измеряемый параметр			
	Воздушный шум	Вибрация		
		Частотный диапазон измерения		
		От 5 до 800 *гц*	От 50 до 10 000 *гц*	От 40 до 32 000 *гц*
Общий уровень	МИУ или 1400D или 2110	1402 С с вибродатчиком VP-3	ИВПШ с вибродатчиком ВЗЧ* без стержня	2110 с вибродатчиками 4308 или 4309
Спектральный состав с полосой анализа ½ октавы	МИУ и ПФ-1	—	ИВПШ с вибродатчиком ВЗЧ и ПФ-1	—
Спектральный состав с полосой анализа ⅓ октавы	2110 с микрофоном 4011 и 2304	—	—	2110 с вибродатчиками 4308 или 4309 и 2304
Спектральный состав с относительной полосой анализа 3—4%	МИУ или 1400 D, 1401DX или TF 455E Самописец «Нейман» или 2304	1402 С с вибродатчиком PV-3 и 1401DX	ИВПШ с вибродатчиком ВЗЧ 1401DX или TF 455E Самописец «Нейман» или 2304	—

*Датчик В34 можно заменять более совершенным датчиком А-III.

Факторы, влияющие на шум и вибрацию подшипников качения

Уменьшение шума и вибрации подшипников качения — сложная задача.

Понятия шум и вибрация в практике объединяют в одном названии «шумность».

Шумность подшипника зависит от многих конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

Конструкция подшипника качения исключает возможность уменьшения шумности до уровня, характерного для подшипников скольжения. Даже при идеальных формах рабочих поверхностей деталей подшипника качения шум и вибрация неизбежны из-за упругих деформаций и элементарного проскальзывания в зонах контакта тел качения с кольцами подшипника и вследствие завихрений воздуха сепаратором и телами качения.

Подшипники скольжения работают в режиме жидкостного трения, подшипники же качения — при полужидкостном или даже при полусухом режиме трения.

На фиг. 68 представлены спектры воздушного шума подшипников скольжения и качения. У подшипника скольжения бо́льшие амплитуды колебаний лежат в области низких частот, где человеческое ухо малочувствительно к шумам. Спектр шума подшипников качения охватывает широкую область, в которой шум является наиболее раздражающим человеческий слух. Белый шум подшипников качения осложняет борьбу с резонансными явлениями в подшипниковых узлах.

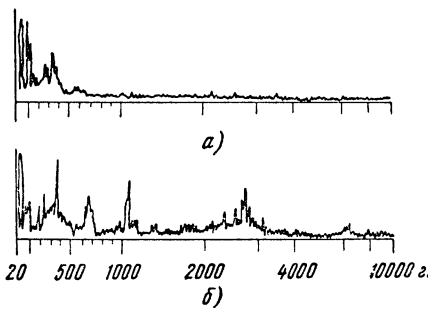
Повышение класса точности подшипников не гарантирует существенного снижения их шумности, так как современные допуски не затрагивают ряда факторов, которые в значительной степени определяют шум и вибрацию подшипников качения (например, волнистость желобов колец подшипников).

Источниками шума и вибраций подшипниковых узлов являются колеблющиеся с различной частотой и амплитудой детали подшипника.

Подшипник качения представляет собой весьма сложную колебательную систему. Кольцо подшипника может совершать изгибные колебания в плоскости кольца, а также изгибные и крутильные колебания в направлении, перпендикулярном к его плоскости. Сепараторы различных конструкций имеют различные жесткости, и в зависимости от этого в них могут преобладать колебания того или иного рода.

Собственные частоты колебаний шариков из-за их монолитности и формы лежат в весьма высоких областях и достигают порядка сотен тысяч герц, находясь, таким образом, в области неслышимых звуков.

Кроме этого, шарик колеблется как сосредоточенная масса вследствие упругого контакта с кольцами и сепаратором подшипника. В зависимости от нагрузки, числа оборотов и упругих свойств контактирующих с шариком деталей



Фиг. 68. Спектры шума: *а* — подшипника скольжения; *б* — подшипника качения.

подшипника частота упругих колебаний шарика может изменяться в диапазоне от 0 до 30 000 *гц*. Шарики, находящиеся в один и тот же момент работы подшипника в различных условиях нагружения и контакта с деталями подшипника, будут иметь различные частоты колебаний на контактах. Эти колебания в значительной степени прослушиваются. Ввиду механической связи деталей подшипников между собой, а также всего подшипника с деталями подшипникового узла неизбежно взаимное влияние, приводящее к изменению частот и уровней колебаний.

Колебания деталей подшипника передаются к деталям подшипникового узла, который в случае совпадения его собственных частот колебаний с возбуждающими колебаниями, передающимися от подшипника, может являться резонатором. Специальных теоретических методов расчета собственных колебаний деталей подшипника не существует. Приближенные расчеты можно выполнять только пользуясь известными формулами курса сопротивления материалов и теории упругости.

Факторы, в какой-то мере обусловливающие шумность подшипника, можно разделить на пять основных групп.

1. **Случайные факторы,** которые не должны иметь место при качественном изготовлении и при нормальной эксплуатации подшипника:

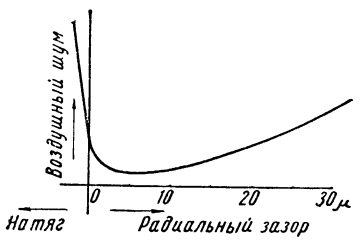
а) загрязнение;

б) отсутствие смазки;

в) деформация колец из-за износа или неправильного изготовления посадочных мест;

г) неправильный монтаж и перекосы;

д) сборка подшипника с натягом или с чрезмерным радиальным зазором;



Фиг. 69. Влияние радиального зазора на шум подшипника качения (по Целлеру и Любке).

е) дефекты рабочих поверхностей деталей (риски, забоины, раковины и т. д.) или низкое качество поверхностей.

В подшипниках нормального класса точности и более высоких классов шероховатость поверхности соответствует 10-14-му классам чистоты поверхности. В этих пределах шероховатость не влияет существенным образом на шум подшипников качения.

Эти случайные факторы могут резко увеличить шум и вибрацию подшипников на 10—20 *дб*, а также изменить частотный спектр шума и вибрации.

В некоторых случаях применяют подшипники с натягом или с большим радиальным зазором, что увеличивает шумность подшипника. Это иллюстрируется графиком, представленным на фиг. 69, [5], [6].

2. **Факторы, незначительно влияющие** на шумность и вызывающие низкочастотные колебания деталей подшипника.

а) Радиальные биения вращающегося кольца, связанные с разностенностью или биением посадочной поверхности. Частота биений подсчитывается по формуле

$$f = \frac{n}{60} \text{ гц},$$

где f — частота в *гц*, n — число оборотов в минуту вращающегося кольца подшипника.

б) Смещение сепаратора на величину зазора плавания и его разностенность вызывают колебания с частотой, вычисляемой по формулам:

при вращении внутреннего кольца

$$f = n_в \frac{D_0 - d_ш \cos\beta}{2D_0 60} \text{ гц};$$

при вращении наружного кольца

$$f = n_н \frac{D_0 + d_ш \cos\beta}{2D_0 60} \text{ гц},$$

где $n_в$ — число оборотов в минуту внутреннего кольца подшипника; $n_н$ — число оборотов в минуту наружного кольца подшипника; D_0 — диаметр окружности центров тел качения; $d_ш$ — диаметр шарика; β — угол контакта шарика с дорожкой качения кольца.

в) Удары, возникающие при входе тел качения в зону нагружения и при выходе из нее. Частоту этих ударов подсчитывают по формулам:

$$f = n_в \frac{D_0 - d_ш \cos\beta}{2D_0 60} z \text{ гц};$$

$$f = n_н \frac{D_0 + d_ш \cos\beta}{2D_0 60} z \text{ гц},$$

где z — число тел качения в подшипнике.

Остальные обозначения аналогичны обозначениям в п. 2.

г) Удары тел качения о стенки сепаратора носят непериодический характер и зависят от скорости вращения подшипника, вида и величины нагрузки на подшипник, условий смазки, температуры, разноразмерности тел качения.

Величина силы ударов резко возрастает при преобладании осевой нагрузки и повышенной разноразмерности тел качения.

3. **Факторы, определяющие шумность подшипника** и создающие высокочастотные колебания деталей подшипника.

а) Волнистость желобов внутренних колец занимает промежуточное положение между некруглостью и шероховатостью. Если для упрощения предположить, что волнистая поверхность имеет синусоидальный профиль и рассмотреть условия соприкосновения шлифовального круга с изделием, то может быть написана следующая зави-

симость между диаметром круга D_s, шагом волны t и амплитудой волны a, равной половине высоты волны:

$$a \leqslant \frac{t^2}{2\pi^2 D_s}.$$

При принятом предположении тело качения, катящееся по синусоидальной волнистой поверхности, будет испытывать максимальные ускорения [7], [8]:

при $t > 2\pi\sqrt{ra}$

$$j_{\max} = 4\pi^2 a \left[\frac{c^2}{\frac{t^2}{4\pi^2 a} - r}\right],$$

где a — половина высоты волны; c — половина окружной скорости на желобе кольца; t — шаг волны; r — радиус тела качения; $f_{\max}$ — возрастает при увеличении высоты волны, скорости вращения кольца и при уменьшении шага волны.

В результате ускоренно-замедленного движения тел качения возникают удары их о кольцо подшипника, что и является одной из основных причин шума и вибрации подшипника.

Схематическое изображение идеального подшипника и подшипника с волнистыми беговыми дорожками и гранными шарами представлено на фиг. 70.

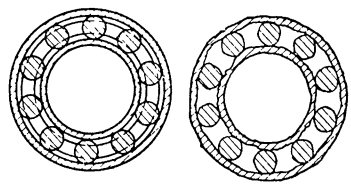
Особо сильное влияние на шум и вибрацию подшипников оказывает вращающееся внутреннее кольцо подшипника с волнистым желобом.

На фиг. 71 дан график изменения уровня вибрации опытного шарикового подшипника с разборным на винтах сепаратором, в котором ставились внутренние кольца с различной величиной волнистости. Волнистость влияет в основном на высокочастотную часть спектра шума и вибрации подшипников (фиг. 72).

Для снижения шумности подшипников качения необходимо, чтобы высота волны не превосходила 0,3 *мк* при $t \gg 2\pi\sqrt{ra}$.

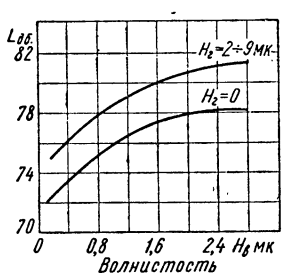
б) Гранность желобов внутренних колец в меньшей степени, чем волнистость, влияет на шумность подшипников качения вследствие более пологой и растянутой волны. Весьма часто на гранность накладывается волнистость. Тогда возникает суммарное действие волнистости и гранности, повышающее шумность подшипников.

На фиг. 73 представлена зависимость вибрации опытного подшипника 307 с разборным сепаратором и со сменными внутренними кольцами от величины гранности желоба внутреннего кольца.



Фиг. 70. Схема подшипника: *а* — с идеальными формами поверхностей; *б* — с волнистыми желобами колец и гранными шарами.

в) Форма и разноразмерность тела качения. Гранность тел качения в значительной степени влияет на шумность подшипников качения.



Фиг. 71. Влияние высоты волны $H_в$ и высоты гранности $H_г$ желоба внутреннего кольца на вибрацию шарикового подшипника 307: $n_в$ = 3000 об/мин; R = 0 *кГ*.

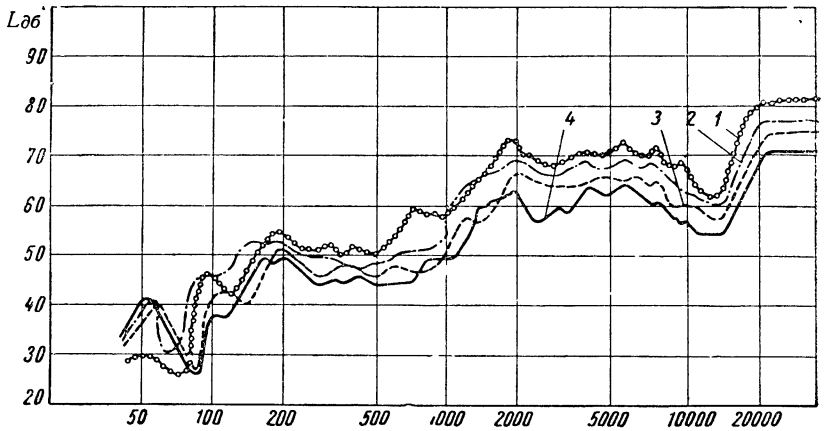
Частота возбуждающих импульсов при гранности тел качения ориентировочно может быть подсчитана по формуле

$$f = n_в \frac{D_o^2 - d_ш^2 \cos\beta}{2D_o d_ш 60} z_г K,$$

где $z_г$ — число тел качения в комплекте, имеющих гранность; K — число граней тела качения.

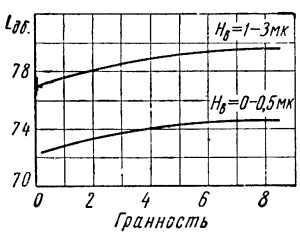
На фиг. 74 представлен график изменения вибрации опытного подшипника 209 с разборным сепаратором и заменяемыми комплектами шариков, имеющих различную величину гранности.

В некоторых теоретических исследованиях [10] утверждается, что разноразмерность тел качения подшипника должна оказывать значительное влияние



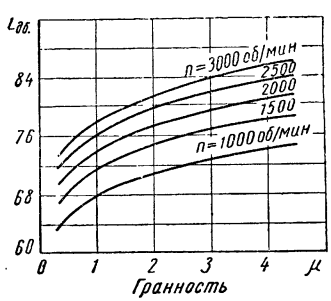
Фиг. 72. Частотные спектры вибрации подшипников 307 с различной волнистостью желобов внутренних колец: n — 3000 об/мин; R = 0 кГ. *1*—H_B=2÷2,5 мк; *2*—H_B=1,5—2 мк: *3*—H_B=0,5; *4*—H_B до 0,2 мк.

на шумность, но проведенные экспериментальные работы с подшипниками, в



Фиг. 73. Влияние высоты гранности $H_г$ и высоты волны $H_в$ желоба внутреннего кольца на вибрацию шарикового подшипника 307; $n_в$ =3000 об/мин; R = 0 кГ.

которых разноразмерность шаров лежала в пределах, допустимых стандарта-

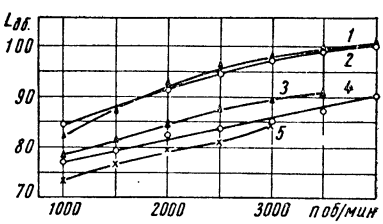


Фиг. 74. Влияние гранности шаров на вибрацию шарикового подшипника 209.

ми, не подтвердили этого теоретического предположения.

4. Внешние факторы. К этим факторам следует отнести габариты подшипников, а также число оборотов подшипника и величину нагрузки.

а) Габариты и тип подшипника. Шумность подшипника зависит от его размеров при прочих равных условиях и увеличивается с увеличением размеров подшипника (фиг. 75).



Фиг. 75. Влияние размеров и типа подшипника на его шумность: *1* — 32310 роликовый подшипник; *2* — 1310 сферический двухрядный шариковый подшипник; *3* — 310 радиальный шариковый подшипник; *4* — 307 радиальный шариковый подшипник; *5* — 306 радиальный шариковый подшипник.

На шумность влияет и конструкция подшипника.

Двухрядные сферические подшипники и, тем более, роликовые подшипники шумят больше, чем шариковые однорядные подшипники с одним и тем же диаметром отверстия.

б) Число оборотов подшипника и нагрузка. Шумность подшипников с увеличением числа оборотов возрастает (фиг. 74, 75). Нагрузка незначительно изменяет шумность подшипников. Часто небольшая нагрузка даже приводит к снижению шумности подшипников на 2—4 *дб* из-за упорядочения кинематики подшипника.

5. Факторы, недостаточно исследованные. К подобным факторам следует отнести влияние сепаратора на шумность подшипников, выбор наиболее удачных размерностей подшипников, демпфирующие прокладки в кольцах подшипников и на посадочных поверхностях, применение пластических материалов в качестве заменителей при изготовлении подшипников, а также выбор соответствующих смазок для малошумных подшипников.

Наибольший интерес представляет применение пластических материалов для малошумных подшипников. По имеющимся данным [12] подобные подшипники с успехом применяют в некоторых специальных установках. Следует, однако, иметь в виду, что применение пластмассовых деталей подшипников ограничено величиной нагрузки на подшипник и скоростью вращения подшипника.

Методика измерения шума и вибрации подшипников качения в звукометрических лабораториях

Хранение и промывка подшипников качения, предназначенных для виброакустических исследований, производится согласно ГОСТ 520-55 пп. 66—72.

Смазка подшипников производится непосредственно перед испытанием строго дозированным количеством смазки согласно инструкции ЦКБ ПП (табл. 12).

В звукометрическую лабораторию для исследований и измерений шума и вибрации могут поступать как партии подшипников, однотипных по своим качествам, так и отдельные подшипники.

Кроме того, для экспериментальных целей целесообразно создавать специальные опытные подшипники с разборными сепараторами на винтах, что позволяет последовательно заменять те или иные детали подшипника, изменяя их конструктивные и технологические характеристики.

Для получения надежных результатов измерений необходимо, чтобы количество подшипников в партии было не менее 30 шт., а желательно 100 шт.

Поступающая партия подшипников должна сопровождаться соответствующими документами, дающими максимально полную характеристику каждого подшипника партии (отклонения от номинальных размеров деталей, чистота рабочих поверхностей, отклонения от правильных геометрических форм, волнистость и т. д.).

По этим данным выбирается головной образец, обладающий наиболее характерными качествами, свойственными подшипникам данной партии. Головной образец подвергается десятикратным измерениям, причем после каждого измерения подшипник должен сниматься со шпинделя испытательного стенда и вновь надеваться. Разброс показаний не должен превышать 2 *дб*. В противном случае следует вновь промыть и смазать подшипник, проверить работу стенда и измерительной аппаратуры.

После получения стабильных результатов измерений на головном образце измеряется вся партия подшипников. Каждый подшипник измеряется трижды на каждом установленном для испытаний режиме. Микрофон шумомера устанавливается по оси подшипника на расстоянии 8 или 20 *см** от торца исследуемого подшипника. Вибродатчики крепятся в специальных державках на андерометрах, привинчиваются к зажимным кольцам испытательных стендов или крепятся струбцинками непосредственно к наружным кольцам исследуемых подшипников.

В случае поступления в лабораторию небольших групп подшипников или опытных сборных подшипников пробные измерения производятся до тех пор, пока не будут получены стабильные показания измерений шума и вибрации, но не менее пяти раз. Затем производятся троекратные рабочие измерения.

Результаты измерений заносятся в рабочие протоколы. В рабочих протоколах с исчерпывающей полнотой должны быть отражены: наименование объекта измерения, условия испытаний, режим работы, наименование и номера виброакустических приборов, а также номер протокола, дата, фамилия оператора.

Рабочие протоколы поступают в обработку и по ним выписывают расчетные протоколы. Из трехкратных измерений выводят среднее арифметическое.

* Расстояние 20 *см* рекомендовано ЦКБ ПП. Следует, однако, учесть, что в этом случае шумовые помехи оказывают большое влияние на точность измерений.

Затем вносят соответствующие поправки, связанные с помехами, с чувствительностью приборов, с нелинейностью частотных характеристик приборов, с различными нулевыми уровнями и поправками, позволяющие подсчитать пиковые или эффективные значения амплитуд отдельных частотных составляющих общего шума или вибрации.

В случае измерения партии однородных подшипников подсчитывают среднее арифметическое значение уровня шума и вибрации этой партии.

В случае, если в большой партии обнаруживают несколько групп подшипников с отличными качествами, то подсчитывают среднее арифметическое значение уровней шума и вибрации для каждой группы подшипников.

Желательно, особенно в начальной стадии работы звукометрической лаборатории, оставлять образцы от партий подшипников, проходящих контроль их шума и вибрации. Из партии подшипников отбирают подшипники с максимальной, минимальной и средней шумностью, близкой к среднему арифметическому значению шумности, характерной для данной партии. Как минимум, желательно оставить один подшипник от партии с минимальным шумом.

Кроме измерения общих уровней шума и вибрации образцов партии, их шум и вибрация анализируют с помощью пол- или третьоктавных фильтров и строят спектрограммы шума и вибрации. При экспериментальной работе с новыми типами подшипников необходимо исследовать частотный спектр анализаторами 1401DX или TF455E.

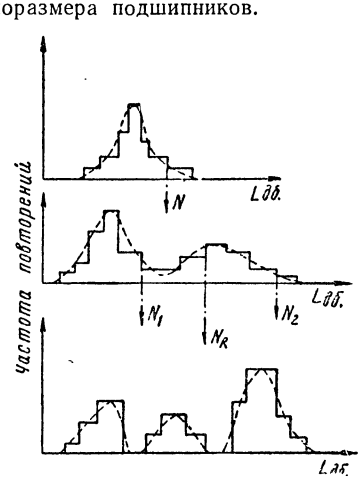
Отобранные образцы консервируют для длительного хранения, снабжают паспортами и хранят в подсобном помещении звукометрической лаборатории Эти образцы оказываются весьма полезными при переходе к измерениям на новом звукометрическом оборудовании. В этом случае образцы измеряются вновь и, таким образом, устанавливается связь с прошлыми измерениями на прежнем оборудовании, удается получить сравнимые результаты измерений на протяжении ряда лет работы лаборатории.

В случае невозможности оставить образцы от партии, шум и вибрацию этих подшипников записывают на ферромагнитную пленку с помощью магнитофона.

В обязанности заводских и исследовательских звукометрических лабораторий входит нормирование уровней шума и вибрации подшипников. Нормирование предполагает установление обобщенных предельных значений уровней шума и вибрации подшипников конкретных типоразмеров при определенном числе оборотов в минуту внутреннего кольца подшипника, определенной нагрузке на подшипник, задании определенной плоскости вращения подшипника, определенной смазке и при определенном расположении измеряющих элементов виброакустической аппаратуры.

Для получения исходных данных согласно методике ЦКБ ПП производятся измерения выборочных партий подшипников в количестве не менее 100 шт. или партия подшипников подбирается специально по определенным параметрам с целью получения малошумных подшипников. Выборочные партии берутся из крупных однородных производственных партий подшипников.

Значения уровней шума и вибрации выписывают в порядке возрастания и по этим данным составляют гистограммы для каждого режима измерения. Гистограммы анализируют и по ним намечают предельные границы интервалов, принимаемые за предельные значения уровней шумности для данного типоразмера подшипников.



Фиг. 76. Типы гистограмм уровней шума подшипников качения.

На фиг. 76 представлены различные виды гистограмм. В гистограмме, форму которой с некоторой степенью при-

ближения можно приравнять к одноликовой кривой, за норму шумности принимается абсцисса, соответствующая ординате кривой, огибающей гистограмму, равной 16% от максимальной ординаты пика и находящейся справа от пика.

В случае многопиковых гистограмм строятся огибающие кривые для каждого участка гистограммы, затем выбираются ординаты для каждого из участков аналогично случаю с однопиковой кривой и рассчитывается положение одной результирующей ординаты по закону равнодействующей моментов площадей фигур отдельных пиков.

Получение многопиковой гистограммы говорит или о большой разнородности измеряемых подшипников, или о недопустимом разбросе показаний прибора. И в том и в другом случае необходимо тщательно проанализировать причины получения некачественных кривых, подобрать более однородную партию подшипников и проверить прибор.

При накоплении достаточного материала строят обобщенные графики изменения шумности подшипников в зависимости от типа и размера подшипников.

В табл. 10—11 приведены временные нормы шума и вибрации шариковых радиальных подшипников серий 200, 300 и 400 и некоторых роликовых подшипников.

В нормах шумности предполагается указывать не только общие уровни шума и вибрации подшипников, но и допустимые частотные спектры шума и вибрации этих подшипников.

Временные нормы допустимого уровня воздушного шума и вибраций шариковых радиальных подшипников разработаны ЦКБПП при соблюдении следующих условий.

1. Уровень воздушного шума и вибрация каждого подшипника определяется как среднеарифметическое результатов трех измерений уровней воздушного шума и вибрации данного подшипника.

2. Микрофон устанавливается по оси подшипника на расстоянии 20 *см* от переднего торца подшипника.

Измерение уровня воздушного шума производится относительно нулевого уровня, равного $2 \cdot 10^{-4}$ бара.

Вибродатчик должен плотно соприкасаться с неподвижным кольцом подшипника или с устройством, закрепляющим это кольцо, и должен располагаться на неизменном и возможно более близком расстоянии от подшипника. Измерение уровня вибраций производится относительно нулевого уровня, равного $3 \cdot 10^{-2}$ *см/сек*^{2}.

10. Временные нормы допустимого уровня воздушного шума в *дб* радиальных шарико- и роликоподшипников при вращении внутреннего кольца подшипника

Шарикоподшипник						Роликоподшипник	
Обозначение	Допустимый уровень	Обозначение	Допустимый уровень	Обозначение	Допустимый уровень	Обозначение	Допустимый уровень
200	50						
201	51	301	52				
202	53	302	54				
203	54	303	55				
204	56	304	56				
205	57	305	59	405	60		
206	59	306	61	406	62		
207	60	307	62	407	63		
208	61	308	63	408	65		
209	63	309	65	409	67		
210	64	310	67	410	69		
211	65	311	68	411	71		
212	66	312	70	412	72		
213	67	313	71	413	73		
—	—	314	72	—	—		
—	—	315	74	—	—	32414	79
—	—	316	75	—	—		
—	—	317	76	—	—	2Н42616	88
—	—	318	77	—	—		
—	—	319	79	—	—		
—	—	320	80	—	—	2322	88

3. Число оборотов внутреннего кольца подшипника равно 1500 об/мин. Радиальная и осевая нагрузки отсутствуют.

4. Уровень воздушного шума в помещении, где производится измерение шума подшипников, должен быть не менее чем на 8 *дб* ниже наименьшего допустимого шума подшипника.

11. Временные нормы допустимых уровней вибрации (колебательных ускорений) в *дб* шарико- и роликоподшипников при вращении внутреннего кольца подшипника

Шарикоподшипник						Роликоподшипник	
Обозначение	Допустимый уровень	Обозначение	Допустимый уровень	Обозначение	Допустимый уровень	Обозначение	Допустимый уровень
200	80						
201	80	301	82	—	—		
202	80	302	80	—	—		
203	80	303	80	—	—		
204	80	304	80	—	—		
205	80	305	81	405	82		
206	81	306	82	406	83		
207	82	307	83	407	84		
208	84	308	85	408	86		
209	85	309	86	409	87		
210	86	310	87	410	88		
211	88	311	89	411	90		
212	89	312	90	412	91		
213	91	313	92	413	92		
—	—	314	93	—	—	32414	97
—	—	315	95	—	—		
—	—	316	96	—	—	2Н42616	96
—	—	317	97	—	—		
—	—	318	98	—	—		
—	—	319	100	—	—		
—	—	320	101	—	—	2322	100

12. Дозировка смазки при контроле шума и вибрации подшипников качения

Обозначение подшипника	Количество капель смазки[1]	Обозначение подшипника	Количество капель смазки[1]	Обозначение подшипника	Количество капель смазки[1]	Обозначение подшипника	Количество капель смазки[1]
200	3	—	—	—	—		
201	4	301	4	—	—		
202	4	302	4	—	—		
203	4	303	5	—	—		
204	4	304	5	—	—		
205	4	305	7	405	10		
206	5	306	7	405	10		
207	4	307	7	407	10		
208	8	308	7	408	10		
209	8	309	7	409	9		
210	10	310	10	410	11		
211	10	311	11	411	20		
212	12	312	18	412	20		
213	12	313	18	413	20		
—	—	314	18			32414	30
—	—	315	18				
—	—	316	25			2Н42616	30
—	—	317	25				
—	—	318	25				
—	—	319	30				
—	—	320	30	—	—	2322	30

[1] Масло веретенное 2.

Стены, пол и потолок помещения должны в достаточной степени поглощать шумы, препятствуя возникновению многократного отражения и стоячих волн. Это условие считается выполненным, если при увеличении расстояния между микрофоном и подшипником вдвое измеряемый уровень шума уменьшается на 6 *дб* по сравнению с первоначальным.

Уровень вибрации частей здания, где производится контроль вибрации подшипников качения, должен быть не менее чем на 8 *дб* ниже наименьшего допустимого уровня вибрации подшипников качения.

5. Подшипники, подлежащие контролю, хранятся и промываются согласно ГОСТ 520—55 и смазываются непосредственно перед контролем в соответствии с дозировкой, приведенной в табл. 12. Смазка (веретенное масло 2) наносится пипеткой на тела качения, затем подшипник прокручивается от руки.

Подшипники с ограниченной шумностью по нормам, указанным в табл. 10 и 11, имеют дополнительный знак «Ш» справа от условного обозначения подшипника.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Целлер В., Техника борьбы с шумом, 1958.
2. Kesters K., Richtlinien für Geräuschminderung Schalltechnische Grundbegriffe.
3. Ingerslev F., Nielsen K., On the transmission of sound through small apertures and narroro slits. «Bulletin technique des ingenieures» № 5, 1944.
4. Иориш Ю. И., Измерение вибрации, 1956.
5. Трейер В. Н., К анализу шума в подшипниках качения, «Подшипник» № 10, 1936, № 2 и 4, 1937.
6. Михеев В. И., Экспериментальное исследование шума шариковых подшипников, «Подшипник» № 2, 1938.
7. Kühnlenz K., Steger A., Fritsch G., Untersuchungen über das Laufgeräusch an Wälzlagern, ZIL. 1958. Heft 1.
8. Steger A., Theoretische Überlegungen zur Entstehung des Laufgeräusches von Wälzlagern. «Die Technik» № 5, 1958.
9. Виланд Ф., Шумность подшипников качения.
10. Крючков Ю. С., Влияние зазора на вибрации и шум подшипников качения, «Вестник машиностроения» № 8, 1959.
11. Янда, Бесшумные подшипники, «Strojirenstvi» № 4, V. 5, 1955.
12. Шарико- и роликоподшипники из пластмасс. Экспресс-информация Всесоюзного института научной и технической информации, вып. 2, 1959.

Глава XXV

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПОДШИПНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Механизация и автоматизация производства в подшипниковой промышленности развивается в двух основных направлениях: на базе автоматизации действующего оборудования и путем создания совершенно новых комплексных автоматических линий, построенных на базе нового оборудования и новых, наиболее прогрессивных, технологических процессов.

Подшипниковая промышленность имеет только один автоматический цех на 1ГПЗ, состоящий из двух комплексных автоматических линий для производства шариковых подшипников 307К1 с годовым выпуском 900 000 подшипников и роликовых конических подшипников 7815К1 с годовым выпуском 600 000 подшипников.

В автоматическом цехе, планировка которого представлена на фиг. 1 (см. вклейку), полностью обрабатываются четыре типа колец.

1. Наружное кольцо роликоподшипника 7815К1 с наружным диаметром 135 *мм* и высотой 35 *мм*.

2. Внутреннее кольцо роликоподшипника 7815К1 с внутренним диаметром 75 *мм* и высотой 35 *мм*.

3. Наружное кольцо шарикоподшипника 307К1 с наружным диаметром 80 *мм* и высотой 21 *мм*.

4. Внутреннее кольцо шарикоподшипника 307К1 с внутренним диаметром 35 *мм* и высотой 21 *мм*.

Площадь цеха около 3000 *м*^{2}.

Общее количество оборудования цеха составляет 635 единиц (310 наименований), в том числе 127 единиц основного технологического оборудования. Вес оборудования превышает 1000 *т*. Общая установочная мощность электродвигателей 2000 *квт*, количество электродвигателей 700. Количество электроприводов 10 000 шт. Длина всей электропроводки 200 *км*. Автоматический цех в соответствии с технологическим процессом и расстановкой оборудования разделяется на пять отделений: токарное, термическое, шлифовальное для роликоподшипников, шлифовальное для шарикоподшипников и сборочное.

Построение автоматических линий с размещением оборудования по параллельно-последовательному методу и образованием самостоятельно действующих гибко связанных между собой участков, имеющих необходимые межоперационные заделы колец, способствует сокращению простоев линий. Это позволило в первые месяцы эксплуатации линий получить запроектированную производительность при достижении расчетного коэффициента использования оборудования.

Для автоматических линий создано значительное количество оригинальных конструкций металлорежущих, сборочных, упаковочных, контрольных, моечно-сушильных и антикоррозионных автоматов и агрегатов, а также автоматических магазинов, транспортеров, подъемников и др., работающих на полном автоматическом цикле.

Сборочные, упаковочные, контрольные и другие автоматы могут быть использованы, помимо автоматических линий, также и в обычном производстве. Металлорежущие автоматы обеспечивают переналадку на другие типы подшипников в пределах $\pm$ 15 *мм* от заданных размеров по наружным диаметрам.

На автоматических линиях принята новая система управления и блокировок участков и линий в целом, которая в сочетании с упрощенным (наглядным) управлением отдельными автоматами и машинами, встроенными в линии, значительно облегчает обслуживание.

Внедрение в производство опытных автоматических линий высвобождает 76 рабочих, занятых на 1ГПЗ изготовле-

нием шарикоподшипников 307 и роликоподшипников 7815, и повышает выработку на одного производственного рабочего в среднем по цеху в 2 раза и на одного списочного рабочего в 1,6 раза.

На автоматических линиях все процессы, связанные с обработкой, контролем и транспортированием колец, а также со сборкой, контролем и упаковкой подшипников, полностью автоматизированы, чем труд рабочих, обслуживающих линии, значительно облегчен.

На линиях качество выпускаемых подшипников выше по сравнению с обычным производством.

Улучшение качества выпускаемых с автоматических линий подшипников обусловлено решением следующих технических задач.

1. Повышением точности обработки колец на шлифовальных автоматах за счет:

а) применения различных видов бесцентровой обработки и бесцентровых зажимов изделия, повышающих точность геометрических параметров шлифуемых поверхностей;

б) максимального соблюдения принципа единства базы, обеспечивающего повышение точности взаимного расположения различных поверхностей кольца;

в) широкого введения в шлифовальные автоматы приборов активного контроля, которые в процессе обработки непосредственно производят измерение шлифуемой поверхности и останов автоматов при достижении требуемого размера;

г) применения полностью автоматических шлифовальных станков, обеспечивающих стабильность изготовляемых изделий.

2. Повышением чистоты и качества поверхности дорожек качения роликоподшипника 7815К1.

3. Внедрением автоматической сборки шарикоподшипников 307 К1 с контролем по заданному среднему радиальному зазору.

4. Введением на образующей роликовой дорожке наружного кольца роликоподшипника 7815 К1, выпуклости (бомбины) для обеспечения самоустановки роликов по внутреннему кольцу при монтаже подшипника в машине.

5. Введения 100%-ного автоматического контроля колец и собранных подшипников вместо существующего в подшипниковой промышленности выборочного контроля (для колец и подшипников класса «Н»), что предотвращает выпуск подшипников пониженных классов.

6. Введения в термическую обработку колец перед отпуском операции «обработки колец холодом» для уменьшения в структуре металла остаточного аустенита и его стабилизации, что обеспечивает неизменность геометрических размеров колец при длительном хранении подшипника, а также повышает контактную прочность дорожек качения колец.

ТЕХНОЛОГИЯ, ПРИНЯТАЯ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ЦЕХЕ

Токарная обработка

Поковки и трубы поступают в цех (фиг. 1, см. вклейку) через ворота и доставляются поковки в бункеры *а*, а трубы на стеллаж *б*. В бункерах емкостью 250—300 колец поковки ориентируются относительно базовых поверхностей и передаются через подъемники и транспортеры в транспортеры-распределители, питающие токарные автоматы через загрузочные лотки.

Токарная обработка наружных колец роликоподшипника 7815 К1 на трех двухсторонних восьмишпиндельных токарных автоматах *1*, а внутренних колец — на автоматах *2* такого же типа.

Инструмент — твердосплавные резцы с креплением пластинок силами резания. Смена инструмента — принудительная. Настройка резцов производится вне станков на специальных индикаторных приспособлениях. Охлаждение — эмульсией, подаваемой из центральной системы под давлением 4—5 *атм*.

Отвод стружки осуществляется автоматически транспортерами шнекового типа. Из нижней полости станков шнеки выводят стружку наружу на продольные двухшнековые транспортеры, расположенные вдоль токарных участков в канале *в*.

В середине цеха стружка перегружается на поперечный транспортер, выводящий стружку из цеха в специальное помещение, где она скопляется в бункерах и по мере крепления выдается наклонным транспортером на автомашину.

Наружные кольца после обработки поступают через отводящие лотки, подъемники и верхний отводящий транспортер на пресс *3* для клеймения, после чего через подъемник и транспортер

передаются в автоматический магазин *10* для последующей термической обработки. Внутренние кольца после второй операции токарной обработки на двух одношпиндельных токарных автоматах *4* передаются на пресс *5* для клеймения и транспортируются в автоматический магазин *11*.

Кольца шарикоподшипников изготовляют из труб на токарных автоматах пруткового типа, наружные кольца — на четырех двухшпиндельных автоматах *6*, внутренние — на двух шестишпиндельных автоматах *7*.

Обработка колец на этих станках производится окончательно с одной установки. Обработанные на автоматах кольца шарикоподшипника подвергаются клеймению на прессах *8* и *9* и передаются транспортером в автоматические магазины *12* и *13*. Автоматические магазины компенсируют неравномерность выдачи колец из токарных автоматов и несоответствие в сменности между токарными и термическими участками. Магазины осуществляют одновременно и автоматическую загрузку колец на термические участки. Емкость магазинов для роликовых колец 1000 шт., для шариковых — 3300 шт.

Термическая обработка

Термическое отделение состоит из трех линий:

1) для наружного кольца роликоподшипника;

2) для внутреннего кольца роликоподшипников;

3) для обоих колец шарикоподшипника.

Кольца, поступающие из магазина *10* и *11*, выдаются из автоматических раскладчиков *14* и *15*, загружающих поддоны закалочных печей рядами колец (5—6 шт. в ряд). Раскладчик *16* линии шарикоподшипников вводит внутреннее кольцо в наружное и укладывает на подину печи по пять пар колец в ряд.

Закалочные печи *18* и *19* — электронагревательные с пульсирующим подом из жароупорной стальной плиты. Для наружных колец применяется печь *17* конвейерного типа, так как пульсация горячих колец малой жесткости приводит к их деформации (овальности). При выходе из печей кольца по лоткам поступают в закалочные баки *20—22*, заполненные маслом.

Из закалочных баков кольца транспортируются конвейерами в моечные машины *23—25*, где они промываются горячей водой с содой, а затем передаются в установки *26—28* для обработки холодом, предварительно подвергаясь в подъемниках осушке холодной струей воздуха.

Из холодильных установок кольца поступают в отпускные печи *29*. Термически обработанные кольца подвергаются размерному и визуальному контролю, для чего они предварительно охлаждаются воздухом из вентиляционной установки. Проверенные кольца передаются в автоматические магазины *30—33*.

Шлифовальные операции

Плоскошлифовальные автоматы *34* и *35* завода МСЗ имеют высокую производительность. Для обеспечения полной суточной программы линий достаточно трех — четырех часов их работы. Обработка наружных и внутренних колец совмещена, поэтому на одних и тех же станках в течение одной половины смены обрабатываются наружные кольца, а во вторую половину смены — внутренние. Переход с обработки одних колец на другие производится переключением лотковой системы. На переналадку требуется около получаса.

После плоского шлифования кольца поступают в магазины *36—39* и затем проходят дальнейшую шлифовальную обработку на четырех отдельных линиях. Первая и вторая линии для шлифования наружных и внутренних колец шарикоподшипников расположены в первом пролете, третья и четвертая линии для шлифования внутренних и наружных колец роликовых подшипников — во втором пролете цеха. Наружные поверхности всех колец, за исключением внутренних роликовых, обрабатываются на бесцентрово-шлифовальных автоматах *40—42*.

Шлифование наружной поверхности внутренних колец роликоподшипников, имеющих коническую форму, производится на бесцентрово-шлифовальных автоматах *43* другого типа. После наружного шлифования кольца проходят через контрольно-блокировочное устройство для отбраковки колец, имеющих отступление от заданных размеров.

Отшлифованные по наружной поверхности кольца поступают в автоматические магазины *44—46*, компенсирующие разность между высокой производительностью участков шлифования на-

ружной поверхности кольца, выполняющих все суточное задание в одну смену, и производительностью участков шлифования отверстий, работающих в две смены. На участках шлифования внутренних колец роликоподшипников, ввиду отсутствия подобного несоответствия, необходимость в магазинах отпадает. Шлифование желобов наружных колец шариковых подшипников производится на желобошлифовальных станках *47*.

Посадочные отверстия внутренних колец шарикоподшипников шлифуются на четырех бесцентровых внутришлифовальных станках *48*. Шлифование желобов на этих кольцах производится на четырех бесцентровых желобошлифовальных автоматах *49*, работающих по методу врезания. Отверстия внутренних колец роликоподшипников шлифуются на восьми внутришлифовальных станках *50*.

На аналогичных девяти станках *51* производится предварительное и окончательное шлифование внутренней конусной роликовой дорожки наружных колец роликоподшипников. На внутреннем кольце роликоподшипника, кроме описанных операций, производится также чистовое шлифование наружной конусной роликовой дорожки на двух бесцентрово-шлифовальных станках *43* и шлифование бортов на трех шлифовальных станках *52*.

Отшлифованные готовые кольца поступают через отводящие транспортеры, подъемники и лотки на дисковые магазины *55—58*. На дисковых магазинах, установленных перед сборкой по одному на каждый тип кольца, производится визуальный контроль двумя контролерами и закладка колец в накопители моечных машин *59—62* — первой операции сборочного отделения.

Контроль, сборка и упаковка

Высокая точность, предъявляемая к подшипникам качения, вызвала необходимость в особенно тщательной подготовке деталей к сборке. Это потребовало введения в технологический процесс мойки колец, шариков, роликов и сепараторов, а также надежного контроля их размеров и обеспечения стабильной температуры в сборочных помещениях. Кольца подвергаются мойке в четырех моечных машинах *59—62*.

Необходимость соблюдения постоянной температуры при сборке потребовала выделить сборочное отделение в закрытое помещение, для которого создана система кондиционирования воздуха, дающая также нужную влажность и чистоту его.

Контрольные автоматы для колец *63—66* и контроля собранных подшипников *67—67 а* оснащены измерительными станциями с пневмоэлектрическими датчиками, на каждой из которых контролируется несколько размеров одновременно. На каждом контрольном автомате контролируется от 20 до 33 параметров с точностью до 0,5 *мк*

Сигнальные лампы отмечают параметры брака. Годные кольца отправляются непосредственно в сборочные машины. Бракованные кольца автоматически отделяются от годных колец и сортируются на две группы: окончательный и исправимый брак; они сбрасываются в предназначенные для каждой группы накопители, которые периодически отправляются в изолятор брака. Сборочная машина *69* для роликовых подшипников является четырехпозиционным вертикальным автоматом. На первой позиции из загружателя выдаются сепараторы и укладываются в гнездо стола. На второй позиции из бункера выдаются ролики, закладываются в сепаратор и вводится внутреннее кольцо, подаваемое из транспортера контрольного автомата. На третьей позиции специальной головкой производится автоматический контроль наличия роликов и кольца. На четвертой позиции происходит обжим сепаратора и выдача собранного блока на стол контролера. Контролер соединяет блок с наружным кольцом и проверяет собранные подшипники.

В отличие от основного производства, в котором селективное комплектование шарикоподшипников осуществляется кольцами, рассортированными на группы через 1—2 *мк* и подбираемыми к ним шариками, в линиях впервые решена задача автоматического комплектования шарикоподшипников по заданному радиальному зазору. В этом случае производится сборка подшипников из двух любых колец (наружного и внутреннего), поступивших с линий, путем автоматического замера разности диаметров их желобов и вызова шариков требуемого размера на позицию сборки.

Для нормальной работы сборочного агрегата практически достаточно 26—

30 групп шариков, рассортированных через 1 *мк*.

В случае неблагоприятного сочетания размеров, при котором невозможно осуществить комплектование подшипника, в сборочном агрегате предусмотрен автоматический сброс колец для последующего сочетания с другими кольцами.

Порядок сборки шарикоподшипников следующий:

1. Аттестация желобов у пары колец, укладка внутреннего кольца в наружное и вызов требуемой группы шариков.
2. Засыпка семи шариков в межкольцевое пространство и равномерное распределение их по желобу.
3. Укладка верхнего полусепаратора.
4. Проверка полусобранного подшипника на радиальный зазор.
5. Укладка нижнего полусепаратора.
6. Соединение полусепараторов усиками.

Производительность сборочного агрегата 1500—1800 подшипников в смену.

Сборочный агрегат для шариковых подшипников представляет собой комплекс четырех машин-автоматов: для аттестации колец *70*, для выдачи шариков *71*, сборочной машины *72* и смонтированного на ней автомата *73* для контроля радиального зазора. Все эти машины связаны электрически и синхронизированы.

Предусмотрена автоблокировка на случай отсутствия колец; полусепараторов, шариков и др. Полусобранные подшипники, в которых при контроле радиального зазора выявлены недопустимые отклонения, выдаются через специальный лоток для разборки и новой комплектовки.

Собранные подшипники после проверки на шум и легкость вращения поступают в контрольные автоматы *67* и *67 а*.

После контрольных автоматов собранные роликоподшипники проходят через демагнитизаторы и поступают на антикоррозионные агрегаты *74—75*. Подшипники после антикоррозионной обработки охлаждаются с применением холодильных фреоновых агрегатов до 30°, а затем передаются на упаковку. Упаковочные автоматы *68* и *77* производят завертку подшипников в парафинированную бумагу, автоматически изготовляют из картонного раскроя коробки, укладывают подшипники в эти коробки, закрывают их, наклеивают бандероль и выдают готовые коробки на стол для укладки подшипников в ящик.

Управление и вспомогательные службы

Все управление автоматическим цехом централизовано и осуществляется на диспетчерском пункте. Диспетчер, работающий за пультом управления, по соответствующим сигналам видит, какое оборудование работает, какое отключено, какое находится в наладке. Серия счетчиков, установленная на этом же пульте, показывает количество колец (по каждому из четырех типов), прошедших через каждый участок (токарной обработки, термической и т. д.), а также количество собранных подшипников. Данные даются за текущую смену и суммарно с начала месяца. Имеются также счетчики брака с разделением его по параметрам.

СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Для автоматических линий принята структура последовательного, а для некоторых участков — последовательно-параллельного построения.

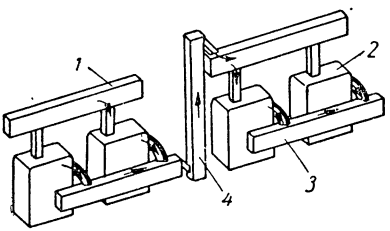
При параллельном построении автоматы, выполняющие одну и ту же операцию, питаются заготовками от общего транспортера-распределителя (фиг. 2).

Обработанные на этих автоматах кольца по лоткам поступают на отводящий транспортер и через подъемник передаются к следующему транспортеру-распределителю, питающему соседнюю группу автоматов, выполняющих дальнейшую операцию, и т. д.

При таком построении автоматы, настроенные на одну операцию, связаны в линии параллельно, а группы автоматов связаны последовательно по технологическому процессу.

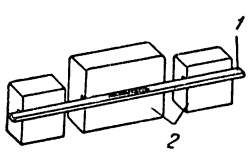
В этом случае временная остановка одного или нескольких автоматов не прекращает работу всего участка, работа продолжается, но с меньшей производительностью. Такое построение применено в линиях почти на всех токарных и шлифовальных участках, на которых производятся наиболее трудоемкие операции при сравнительно небольшой стойкости инструмента (1—4 часа работы).

Последовательное построение участков (фиг. 3) предусматривает наличие в линии только единичных экземпляров металлорежущего или другого технологического оборудования. Разнотипное оборудование участка связывается жестким транспортером.



Фиг. 2. *1* — транспортер-распределитель; *2* — станок; *3* — транспортер отводящий; *4* — подъемник.

Такое построение применено на термических и контрольно-сборочных участках, а также на высокопроизводительных участках плоского и бесцентрового наружного шлифования колец, где стойкость шлифовальных кругов велика. Каждый из основных участков, построенных по параллельному методу, разбит на несколько частей в зависимости



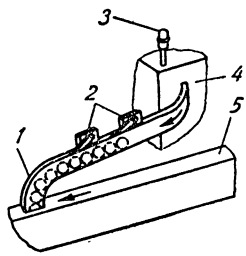
Фиг. 3. *1* — транспортер; *2* — автомат.

от операций по обработке колец. Между операционными участками (за исключением участков плоского и бесцентрового наружного шлифования колец) магазины отсутствуют. Роль межоперационных магазинов в этом случае выполняют специальные транспортные устройства в виде транспортеров-распределителей, отводящих транспортеров, подъемников и лотков.

Кроме транспортировки, эти устройства могут накапливать кольца для межоперационного хранения, что обеспечивает возможность работы отдельных операционных участков в случае остановки смежных с ними участков в течение 0,5—1 часа.

Система электрического управления и блокировок построена с учетом возможности самостоятельной работы отдельных операционных участков вне зависимости от работы смежных, а также работы отдельных автоматов внутри каждого операционного участка без связи их работы с соседними автоматами.

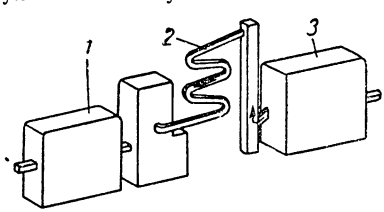
При заполнении кольцами отводящих транспортеров и лотков посредством пары контактных датчиков, встроенных в лотки (фиг. 4), дается команда на



Фиг. 4. *1* — лоток; *2* — контактные датчики; *3* — светофор; *4* — автомат; *5* — отводящий транспортер.

останов металлорежущего автомата с подачей сигнала на светофор.

Высокопроизводительные участки плоского и бесцентрового наружного шлифования колец дают возможность выполнять двухсменную программу по обработке колец в одну смену и имеют на входе и выходе автоматические магазины с емкостью, рассчитанной на двухсменный выпуск линии.



Фиг. 5. *1* — агрегат для сборки шарикоподшипников; *2* — накопитель колец; *3* — контрольный автомат.

На участке контроля и сборки шарикоподшипников имеются накопители колец в виде спиральных лотков емкостью на 40—60 колец (8—12 мин. работы), установленных на стыке контрольных автоматов и сборочного агрегата (фиг. 5).

На термических участках с последовательным построением, где передача колец в агрегатах происходит неорганизованно (навалом), жесткой транспортной связи нет. Отдельные единицы встроенного в участки оборудования с малой скоростью перемещения колец (50—100 *мм/мин*) допускают кратковременную остановку (10—15 мин.) для устранения неисправностей вне зависимости от работы смежного оборудования. На двух автоматических линиях имеется 28 операционных мелких участков, из которых 18 имеют параллельное построение, а остальные 10— последовательное.

ТРАНСПОРТНЫЕ УСТРОЙСТВА И ОТДЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Токарный участок

Транспортные устройства, состоящие из транспортеров, а также подающих и отводящих лотков, выполняют функции межоперационного транспортирования, равномерного распределения заготовок по параллельно работающим автоматам, а также создание в распределительной системе необходимого задела колец для независимой работы этой системы от предыдущих устройств.

Объектами транспортирования на токарном участке наружных и внутренних колец роликоподшипника 7815 К1 являются заготовки-поковки из стали ШХ15 и обработанные на токарных автоматах кольца. Заготовка и обточенное наружное кольцо имеют удобную для транспортировки форму гладкого цилиндра диаметром 135 *мм* и высотой 35 *мм*, но для ориентировки заготовок по базовому торцу к транспортной системе требуется специальное сортировочное устройство.

Форма заготовки и обточенного внутреннего кольца этого подшипника менее удачна для транспортировки, но так как базовый торец определен наружными контурами заготовок, ее ориентировка в транспортной системе осуществляется более простым сортировочным устройством.

Транспортные устройства участка выполняют следующие операции:

а) хранение поковок;

б) подачу поковок на следующий участок;

в) ориентацию поковки в системе транспортных устройств;

г) подъем поковок и транспортирование их в распределительное устройство;

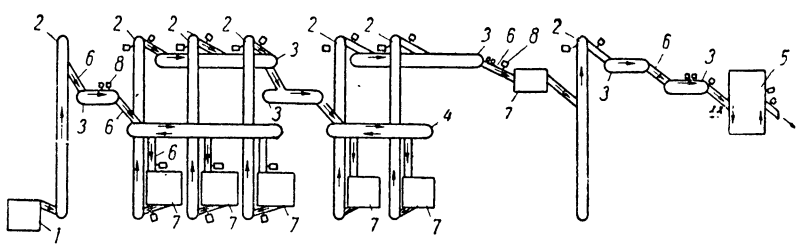
д) распределение поковок и колец по металлорежущим автоматам;

е) хранение запаса колец, необходимого для компенсации разносменности смежных участков и разности в производительности;

ж) удаление стружки от автомата и с участка.

Транспортные устройства (фиг. 6), применяемые для выполнения указанных операций, разбиваются на:

автоматические бункерные загружатели (бункеры) *1* с сортировочными механизмами для наружных и внутренних колец; подъемники *2*; транспортеры отводящие *3*; транспортеры-распределители *4*; автоматические магазины *5*; лотки *6*; транспортеры для удаления стружки *7*.

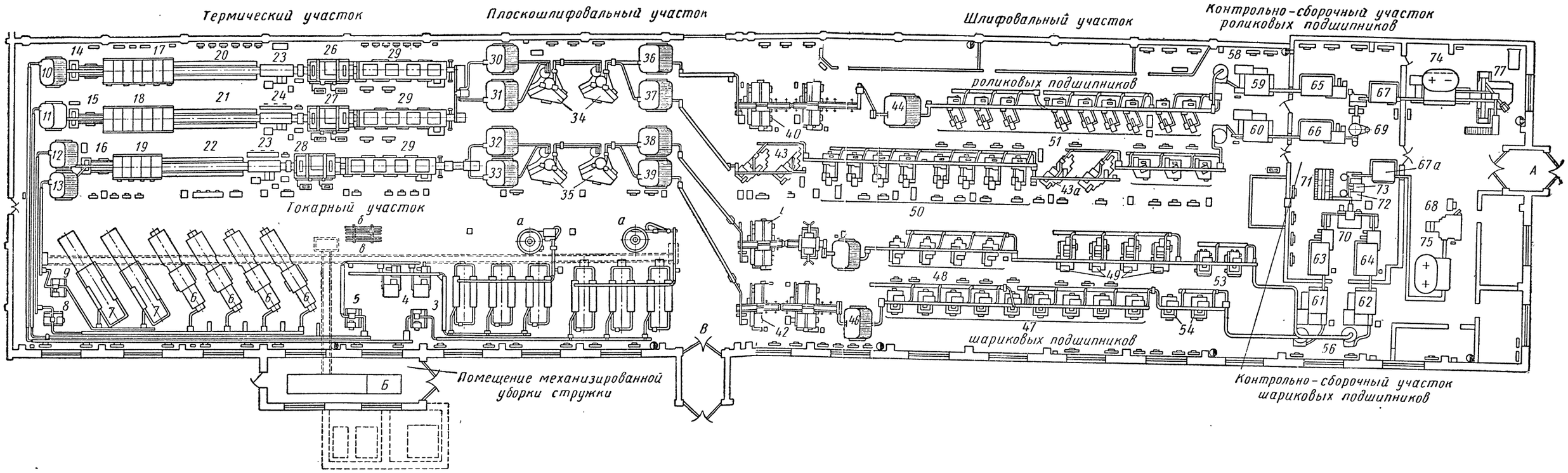


Фиг. 6. Схема транспортных устройств.

Автоматические бункеры

Поковки, поступающие на токарный участок, загружаются навалом в автоматические бункеры, установленные в начале участка. Автоматические бункеры служат для хранения поковок и выдачи их в подъемник в ориентированном положении.

Автоматический бункер для поковок наружных колец (фиг. 7) имеет следующие механизмы: загрузочную чашу с ко-



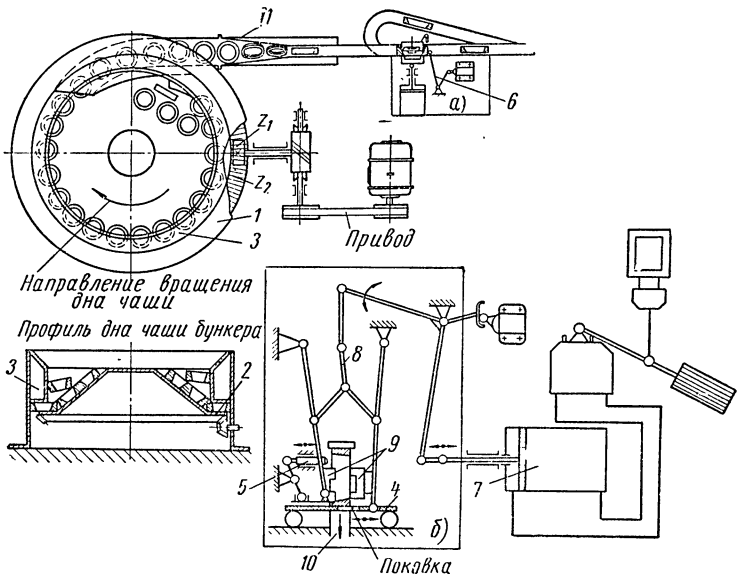
Фиг. 1. Планирса автоматического цеха на 1ГПЗ.

нусообразным дном и отсекателем колец, штопорный лоток, сортировочный механизм, привод.

Поковки наружных колец загружаются в цилиндрическую чашу *1* в количестве 250—300 шт. При медленном вращении дна чаши *2* поковки увлекаются под отсекатель *3*, укладываются на плоский торец и силой трения о диск проталкиваются через штопорный лоток *11*, в котором повертываются на 90° и входят в вертикальном положении в сортировочный механизм.

вает связанный с ним отсекатель *5* верхнего лотка. Обратный ход скалки пневмопривода выводит щупы из поковки, но отсекатель остается открытым и пропускает кольцо, которое уходит в подъемник.

При положении поковки широким торцом влево в коническое отверстие входит правый щуп *9*, который одновременно проталкивает подвижное дно верхнего лотка *4*. При обратном движении рычагов поковка под действием собственного веса проваливается в нижний



Фиг. 7. Автоматический бункер для поковок наружных колец.

Сортировочный механизм (фиг. 7, *а* и *б*) имеет два лотка, расположенные один над другим и разделенные между собой задвижкой *4*.

При входе в верхний лоток кольцо задерживается отсекателем *5* верхнего лотка и нажимает на рычаг *6*, который включает конечный выключатель. Далее выключается соленоид, клапанный кран и начинает работать пневмопривод механизма *7*.

Скалка пневмопривода приводит в движение сопряженную систему рычагов *8*, на которых находятся правый и левый щупы *9*. При положении поковки, показанной на схеме, правый щуп упирается в нижний торец поковки и останавливается, а левый щуп проходит в коническое отверстие и открывает лоток *10*, оборачивается в петле лотка на 180° и приходит в подъемник ориентированная базовым торцом относительно рабочей позиции.

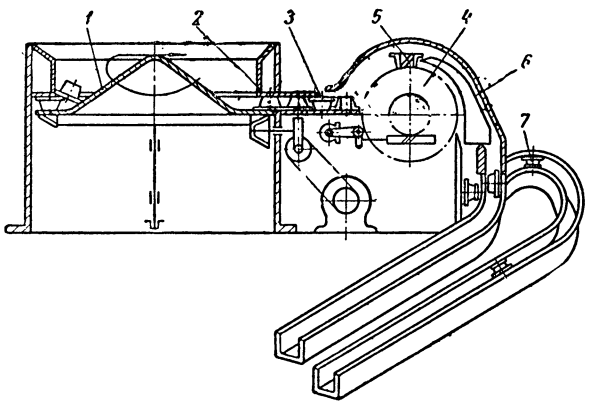
Автоматический бункер для поковок внутренних колец состоит из цилиндрической загрузочной чаши, сортировочного механизма и привода (фиг. 8).

Поковки, находящиеся на вращающемся коническом дне чаши *1*, под действием собственного веса и центробежной силы сдвигаются на периферию дна, откуда проталкиваются под отсекатель *2*.

Пройдя отсекатель, кольца попадают в лоток бункера *3*, а через него — в сортировочный механизм. Вращающийся диск сортировочного механизма *4* захватывает поковку специальным пальцем *5* и проталкивает через сортировочный

проем *6*, который имеет разделительные ребра, расположенные симметрично с двух сторон проема.

В зависимости от положения поковки на пальце сортировочного механизма — широким торцом вверх или вниз — кольцо падает в соответствующую камеру-лоток и направляется или непосредственно в подъемник, или в спиральный лоток *7*, в петле которого оно оборачивается на 180°. При наличии автоматических бункеров отпадает необходимость в операторе для загрузки заготовок в начале линии.



Фиг. 8. Автоматический бункер для поковок внутренних колец.

Подъемники и транспортеры

Распределительный и отводящий транспортеры участка расположены наверху транспортной системы, поэтому на участке широко применяются подъемники для подъема поковок и колец на эти транспортеры.

Подъемник, показанный на фиг. 9, состоит из швеллерной колонны *1*, в которой смонтирован вертикальный лоток *2* и две пары звездочек *3* (натяжная и приводная).

Снаружи колонны смонтирован привод *4*, механизм приема *5* и лоток выдачи *6*. Подъемным элементом служат две втулочно-роликовые цепи с шагом 25,4 *мм*, соединенные между собой поперечными валиками с вращающимися втулками *7*.

Во время работы подъемника кольца *8* из автоматического бункера или металлорежущего автомата попадают по наклонному лотку в механизм приема *5*.

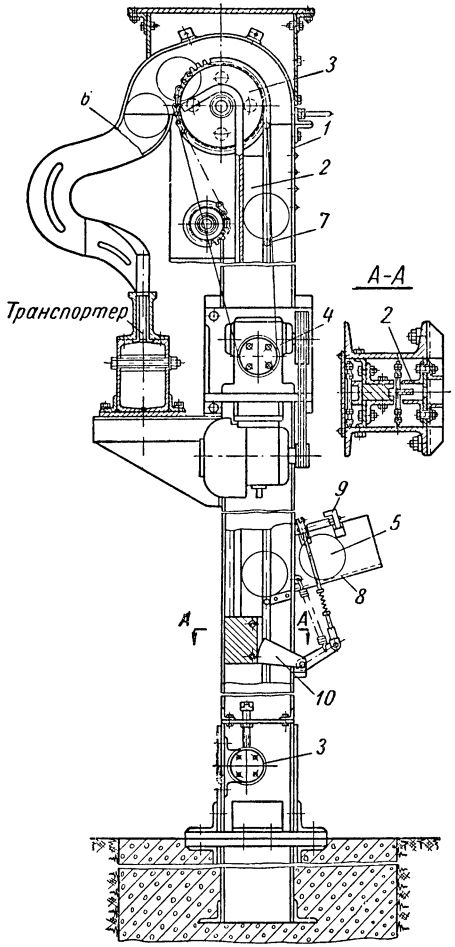
В механизме приема кольца задерживаются отсекающими защелками *9*. Отсекающие защелки приводятся в движение рычагом *10* от поперечных валиков цепи и пропускают по одному кольцу в каждую из ячеек цепи. Выдача кольца из подъемника в верхний транспортер осуществляется через лоток выдачи *6*, поворачивающий кольцо на любой заданный угол в зависимости от положения отводящего транспортера, в который кольцо перегружается.

Жесткая конструкция колонны подъемника с хорошей заделкой основания дает возможность использовать колонну в качестве поддерживающего устройства для верхнего транспортера. Транспортер отводящий (фиг. 10) предназначен для передачи поковки или кольца от подъемника на транспортер-распределитель или в автоматический магазин и применяется в тех случаях, когда из-за большого расстояния или отсутствия перепада высоты эта передача не может быть осуществлена с помощью гравитационного перемещения кольца по лотку. Транспортер состоит из швеллерной рамы *1*, по концам которой смонтированы натяжная и приводная звездочки *2* и *3*. Сверху рамы крепится привод *4* и имеется лоток *5* для движения изделия. К этому лотку присоединяется лоток приема *6*.

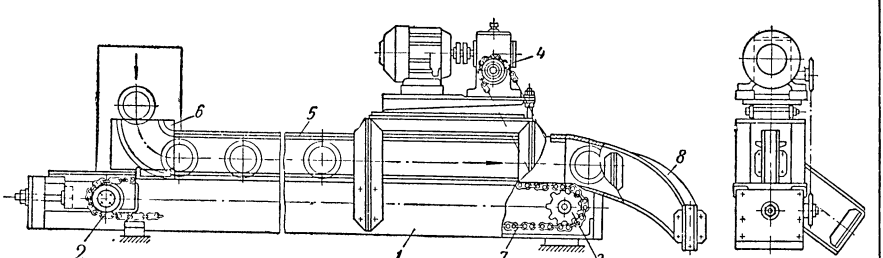
Транспортным органом служит втулочно-роликовая цепь *7* с пластинами для колец. В конце транспортера установлен разгрузочный лоток *8*. Во время работы транспортера кольца из подъемника попадают на пластинчатую цепь и подаются ею к разгрузочному лотку.

При переполнении кольцами последующего транспортного устройства пластины цепи проскальзывают под кольцами.

Распределение поковок или колец по нескольким параллельно работающим металлорежущим автоматам осуществляется с помощью транспортера-распределителя (фиг. 11). Транспортер состоит из механизма приема, корпуса, по концам которого смонтированы приводная и натяжная звездочка, привода несущей цепи и лотка выдачи.



Фиг. 9. Подъемник для поковок и колец.



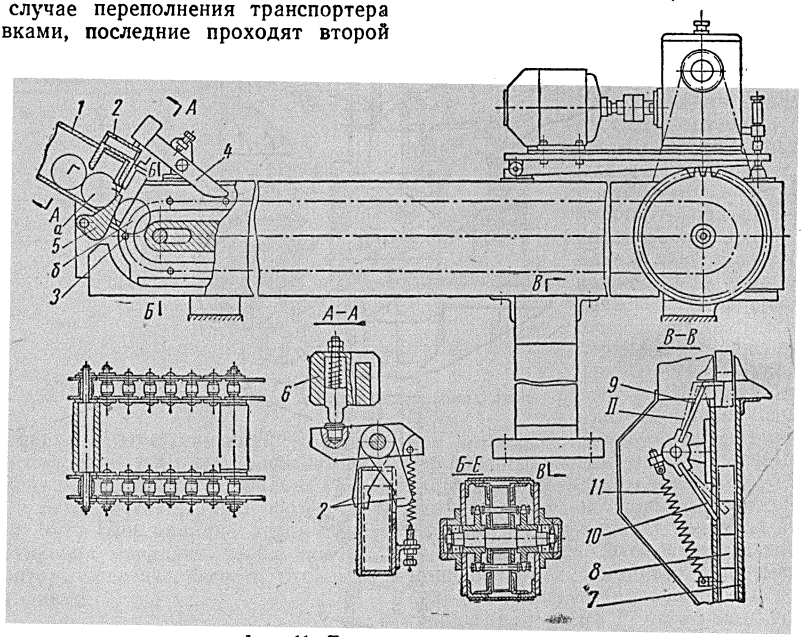
Фиг. 10. Транспортер отводящий.

Поковки во время работы поступают в лоток механизма приема *1* и посредством отсекающих собачек *2* — по одной шт. выдаются на перекладины несущей цепи *3*. Отсекающие собачки *2* приводятся в действие от вращающейся втулки перекладины цепи *3* с помощью отсекающего рычага *4*.

В случае переполнения транспортера поковками, последние проходят второй круг (поковка *б*), наезжая при этом на кулачок *5*, который препятствует выдаче поковки *а* в ячейку, занятую поковкой *б*, несмотря на то, что отсекающие собачки в это время освободили поковку *а*.

Компенсация зажима поковки, попавшей под переднюю защелку, при отсутствии другой поковки на задней защелке (поковка *а* на схеме) производится компенсирующим пружинным устройством *6*, встроенным в головку рычага.

Выдача поковок на автомат производится посредством лотка выдачи *7*, снабженного отсекателем, контролирующим переполнение этого лотка поковками. При отсутствии поковок в лотке выдачи рычаги *9* и *10*, жестко соединенные между собой и вращающиеся на одной оси, находятся в исходном положении *11*. При падении в лоток поковки *8* она нажимает на рычаг *10* и перекрывает отверстие рычагом *9*. Если поковка принимается станком, рычаги *9* и *10* под действием пружины *11* становятся в исходное положение. Лоток вновь готов к приему поковки. Таким образом, вызов металлорежущим автоматом поковки производится заготовкой, ушедшей из механизма выдачи на автомат.



Фиг. 11. Транспортер-распределитель.

Принятая конструкция транспортера-распределителя позволяет создать небольшие накопления заготовок (50—100 шт.) и обеспечить работу участка в течение 30—50 мин. при неработающих других устройствах.

Автоматические магазины

Заготовки колец проходят на токарных автоматах полную токарную обработку; обработанные кольца по лотку скатываются в подъемник, из которого перегружаются в транспортер отводящий. Далее по наклонным лоткам или лоткам-накопителям кольца подаются на пресс для клеймения, после чего по системе лоток — транспортер — отводящий лоток загружаются в автоматические магазины, находящиеся в конце токарного участка (фиг. 12).

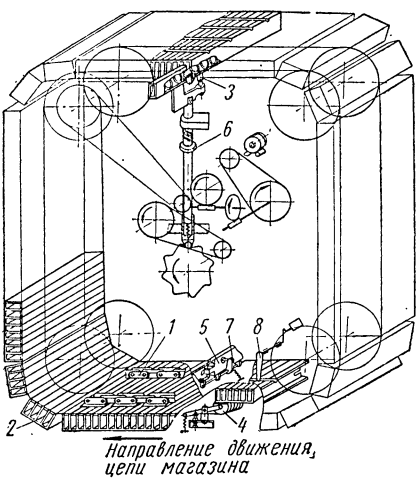
Магазин может работать по любому из следующих циклов:

1) только принимать кольца (накапливать);

2) только выдавать кольца (расходовать);

3) принимать и выдавать кольца одновременно.

Наличие автоматического магазина обеспечивает независимую работу участка от смежных участков.



Фиг. 12. Автоматический магазин.

Магазин представляет собой наклонный цепной конвейер *1*, к цепи которого укреплены лотки *2*. На разгрузочной стороне лотков имеются отсекатели *3* в виде двух подпружиненных защелок, сидящих на общей оси. Во время работы магазина лотки непрерывно движутся.

Все лотки имеют поперечные прорези, в которые входят ролики *4*, последовательно смещенные по движению лотков для того, чтобы кольца заполняли лотки, перекатываясь от ролика к ролику, без удара.

При входе колец в магазин устанавливается механизм приема *5*, при выходе — механизм выдачи *6*. Прием колец и выдача их производятся под действием веса колец. Загрузочная часть лотка механизма приема *5* срезана и сделана в виде тупика, входящего в вырез лотка магазина, вследствие чего в каждый лоток попадает только одно кольцо и заполнение всех лотков происходит равномерно. В механизме приема имеется устройство *7* для контроля переполнения лотков магазина, состоящее из двух рычагов, сидящих на одном валу. Один рычаг выходит в лотки магазина, другой — в приемный лоток.

Если какой-нибудь из лотков магазина окажется полностью загруженным, то рычаг отклоняется, поворачивая второй рычаг, который задерживает поступление колец в лотки магазина.

На случай застревания колец между приемным лотком и лотком магазина часть стенки приемного лотка подпружинена.

Если застрявшее кольцо останется в начале лотка, то для этого случая по другую сторону механизма приема имеется предохранитель в виде подпружиненного рычага *8*. Кольцо, попадая под этот рычаг, отклонит его, воздействуя на конечный выключатель, и выключит магазин.

Выдача колец осуществляется механизмом выдачи *6*. Этот механизм установлен против отсекателей лотков магазина и приводится в действие от общего привода. Он состоит из кулачкового диска и подпружиненной скалки, совершающей возвратно-поступательное движение. Встречая на пути отсекатели, скалка поворачивает их, и кольца по одному выкатываются в лоток выдачи.

Если лоток выдачи заполнен, то нож скалки упирается в кольцо, скалка амортизируется и не доходит до отсекателей. Выдачи колец не происходит.

Такое устройство исключает необходимость в блокировке магазина с последующими агрегатами. На тот случай, когда выдача колец не нужна, чтобы механизм выдачи не работал вхолостую, предусмотрено выключение кулачкового диска.

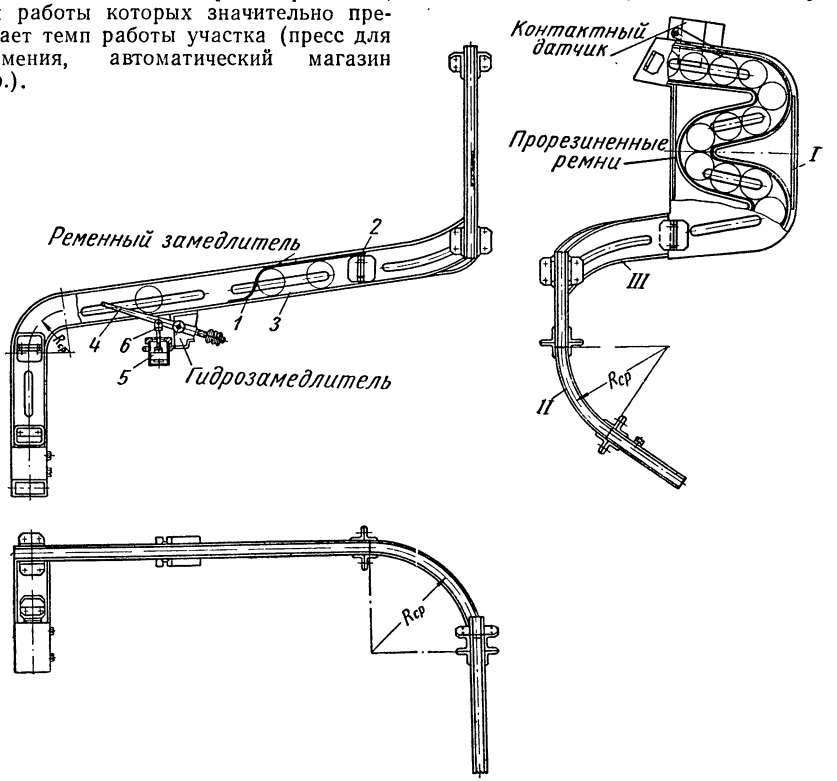
Емкость автоматических магазинов принята исходя из максимального накопления за счет разности в производительности соседних участков, а также исходя из остановок механизмов этих участков на время не более одной смены.

Лотки и замедлители

Передвижение колец из участка во многих случаях осуществляется на короткие расстояния под действием веса изделия качением или скольжением. Для

этой цели спроектированы лотки и склизы.

Многообразие видов перемещения колец от одного агрегата к другому потребовало создания большого количества лотков разнообразных конструкций. Лотками осуществляются: спуск колец с замедлением с большей высоты на меньшую, поворот и ориентировка колец, накапливание колец перед агрегатами, темп работы которых значительно превышает темп работы участка (пресс для клеймения, автоматический магазин и др.).



Фиг. 13. Замедлители движения колец.

Спуск колец с замедлением осуществляется посредством лотка *I*, показанного на фиг. 13.

В этом лотке движение кольца замедляется вследствие трения его о боковые стенки и проскальзывания, но на поворотах при падении кольцо снова несколько набирает скорость. В результате при выходе из лотка к агрегату скорость движения кольца значительно уменьшается. Поворот колец осуществляется радиусным *II* и спиральным *III* лотками.

Для предотвращения забоин были введены различные замедлители движения колец, а отсекающие механизмы транспортных устройств были изготовлены с наплавленными головками из латуни и меди.

Замедление колец ремнем осуществляется подвеской ремня *1* к верхней крышке лотка *2*. Конец ремня свободно укладывается на дно лотка *3*.

Кольцо при своем движении поднимает ремень со дна лотка и вследствие дополнительного трения о ремень скорость кольца замедляется.

Гидрозамедлитель прикрепляется к лотку на кронштейне и состоит из рычага *4* с противовесом цилиндра *5*, залитого маслом, и штока *6*.

При движении кольцо нажимает на рычаг, который толкает шток. В результате масло медленно переливается через небольшие отверстия в штоке из нижней полости цилиндра *5* в верхнюю полость, определяя скорость поднятия рычага и пропуск кольца.

Для уменьшения шума при движении кольца, а также увеличения срока службы лотков, на дно их положены прорезиненные ремни. Как показала практика, износ этих ремней очень незначителен.

Транспортер для стружки

Для токарного участка выбрана конструкция шнекового транспортера, широко известного при транспортировке сыпучих материалов (песок, мука и др.).

Шнековый транспортер для удаления стружки располагается вдоль фронта токарного участка и обслуживает все токарные автоматы, входящие в этот участок.

Транспортер (фиг. 14) расположен под полом в специальном бетонном канале *1*, перекрытом стальными листами и чугунными плитами.

Транспортер имеет отдельный привод *2*, который вращает шнеки *3*. Шнеки укладываются по всей длине на специальные чугунные подушки *4*, которые установлены на опору, заделанную в бетон *5*. Шнеки сварной конструкции из отдельных небольших частей собраны с помощью специального соединения *6*.

Для предотвращения попадания эмульсии под транспортер чугунные плиты укладываются на опорные швеллеры с резиновой прокладкой на краске. Для уменьшения трения стружки о стенки канала к чугунной подушке привернуты щитки *7*. Привод шнеков от редуктора осуществляется через шариковую муфту *8*, обеспечивающую шнекам возможности свободного перемещения при случайном попадании под витки шнеков посторонних предметов.

Диаметр шнеков — 200 *мм*, шаг между втулками — 100 *мм*. Во время работы стружка сходит с токарных автоматов через загрузочные бункеры *9* и, попадая на шнеки, прижимается к боковым щиткам благодаря вращению шнеков в сторону щитков. Далее стружка, попадая между витками шнеков и опираясь на боковые щитки, перемещается в сторону сброса для разгрузки.

Слив эмульсии с транспортера осуществляется через сливную трубу в централизованную систему. Очистка колодцев от мелкой стружки производится один раз в смену через специальный лоток. Для привода транспортера требуется электродвигатель большой мощности.

Длительная эксплуатация транспортера показала возможность широкого применения подобного типа транспортеров в автоматических токарных производствах.

Система блокировки

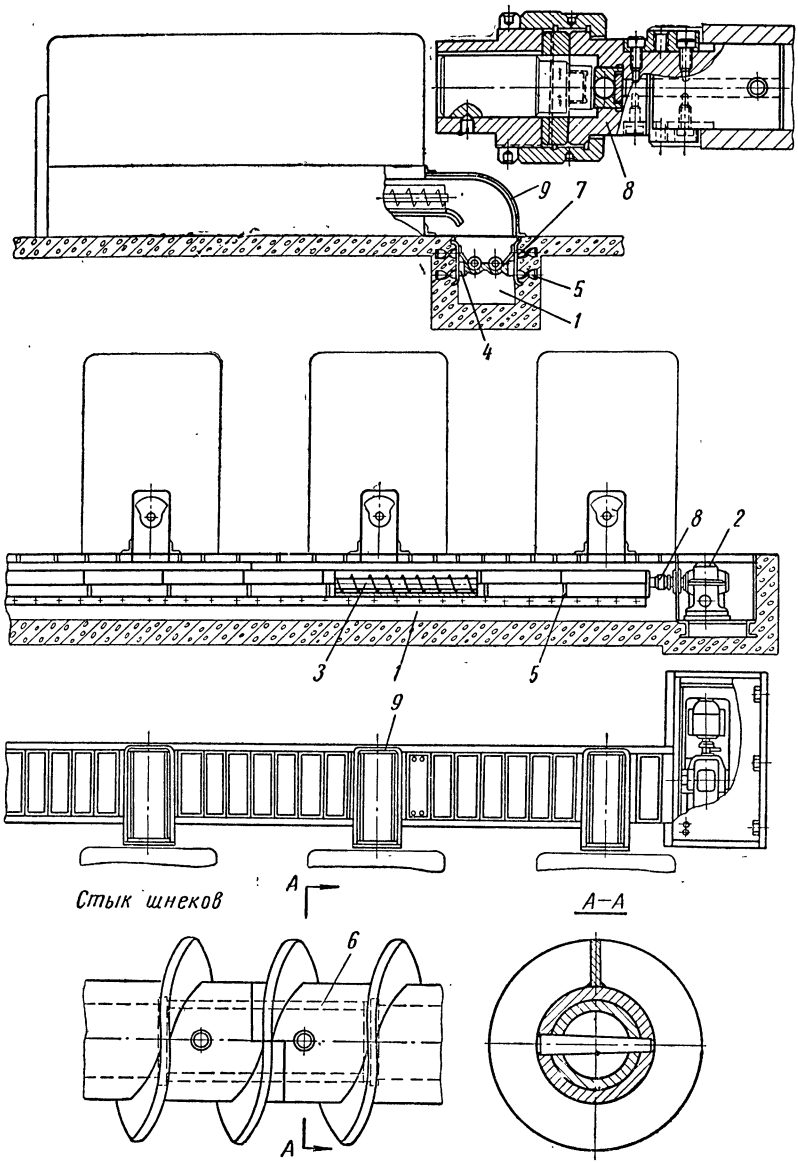
Для создания большей гибкости в работе транспортных устройств предусмотрена система блокировки на случай переполнения механизмов-накопителей заготовок и готовых изделий. К накопителям относятся транспортеры-распределители, лотки-накопители и автоматические магазины.

В системе: автоматический бункер, подъемник, транспортер отводящий, транспортер-распределитель — автоматический бункер работает с темпом 5 сек., превышающим темп выпуска колец с участка металлорежущих автоматов (20 сек.), транспортер-распределитель в течение небольшого времени наполняется кольцами. При подходе поковок к входу в транспортер, они включают контактный датчик *8* (см. фиг. 6), который отключает подъемник и автоматический бункер.

Подачи заготовок не происходит до тех пор, пока в транспортере-распределителе не появятся свободные ячейки для приема колец. Для агрегатов, работающих с темпом, меньшим темпа участка (пресс для клеймения), создается возможность предварительного накопления колец. При достижении необходимого количества колец агрегаты включаются в работу автоматически. Такая система позволила исключить холостые ходы агрегатов, а также экономить электроэнергию.

Принятые система транспорта и система блокировки обеспечивают маневренность в работе участка. Простои транспортного оборудования не превышают 1—2% от всего календарного времени работы участка. Полностью отсутствуют простои металлорежущего оборудования из-за транспорта.

Эксплуатация токарного участка в течение длительного времени показала, что структура параллельного построения



Фиг. 14. Шнековый транспортер для удаления стружки.

участка в сочетании с принятой системой транспортных устройств, управления и блокировки вполне отвечает требованиям комплексной автоматизации.

Принятая система транспорта и отдельные ее элементы могут являться типовыми для автоматизации подобных производств.

Гибкость описанной транспортной системы позволяет использовать элементы ее для механизации и автоматизации производства на базе существующего оборудования.

В настоящее время СКБ-6 разработало оригинальные типовые узлы (элементы) всех транспортных средств, из которых можно собирать подводящие и отводящие транспортеры и лотки, а также подъемники (элеваторы) любой длины.

Транспортные средства, смонтированные из этих элементов, легко ремонтируются, надежны в эксплуатации и изготовляются из заменителей металла.

Загрузочно-выгрузочное устройство двухблочного восьмишпиндельного токарного автомата 02С01 (автооператор)

Токарная обработка колец роликоподшипников производится в автоматических линиях из штамповок на двухблочных восьмишпиндельных токарных автоматах типа 02С01.

Наличие в автомате двухшпиндельных блоков позволяет осуществить полную обработку колец за одну операцию. С этой целью в автомате на левом блоке (фиг. 15) на позициях *II* и *III* предусмотрена обработка наружной поверхности и базового торца кольца, а на правом (противоположном) блоке на позициях *VI* и *VII* производится обработка отверстия и другого торца. В каждом блоке кольцо обрабатывается на двух нижних шпинделях.

Автоматическая загрузка заготовки в автомат, передача ее с блока на блок и выгрузка кольца после обработки производятся на верхних шпинделях на позициях *I*, *IV*, *V* и *VIII*.

Загрузочно-разгрузочное устройство автомата имеет три основных механизма: загружатель, перегружатель и выгружатель, монтируемых на траверсе автомата и действующих от самостоятельных гидравлических цилиндров в определенной последовательности.

Устройство показано на фиг. 15, где блоки со шпинделями изображены условно, в развернутом положении.

Загружатель состоит из вертикального лотка *1*, по которому заготовка из верхнего транспортера поступает в автомат, и досылателя *2*, перемещаемого от штока цилиндра *3*. Для отсекания нижней заготовки от верхних в лотке предусмотрен отсекатель *4*, действующий от досылателя.

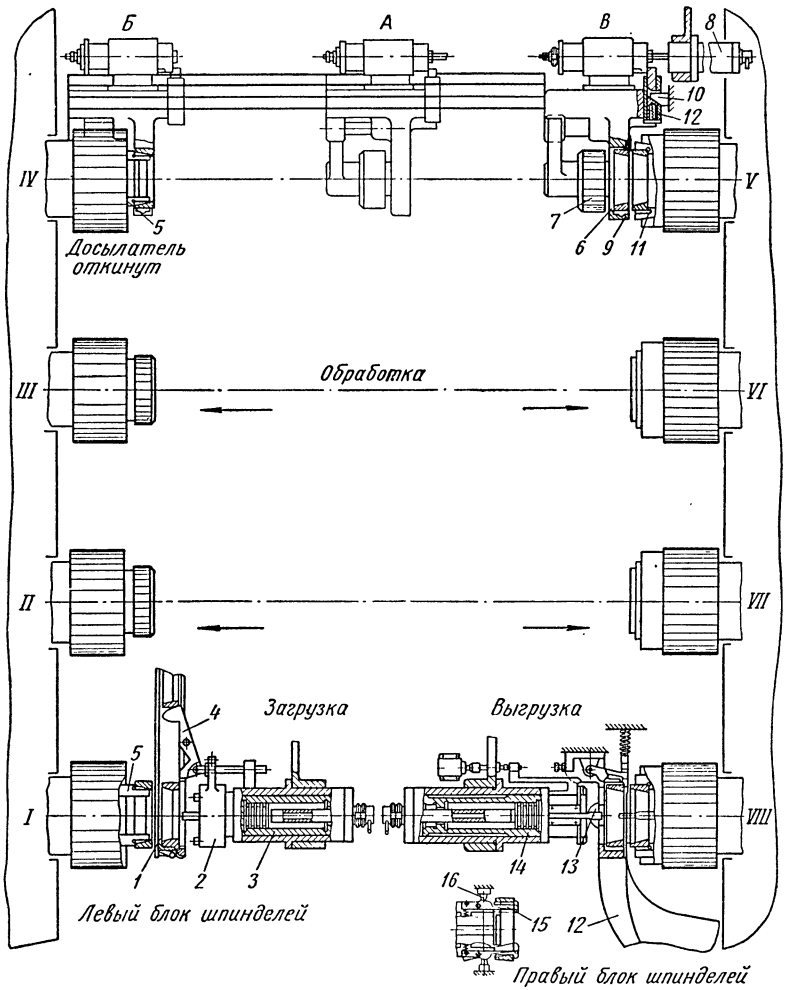
При наличии заготовки в нижней части лотка дается команда на движение досылателя, который, переходя в левое крайнее положение, перемещает заготовку из лотка (через окно) на кулачки патрона *5*.

Перегружатель имеет два основных механизма: устройство для захвата заготовки *6* и укрепленного на нем поворотного досылателя *7*, действующих от гидравлического цилиндра *8*.

При переходе перегружателя из среднего положения *А* в положение *Б* досылатель *7* поворачивается в сторону и устройство для захвата *6* находит на патрон *5* шпинделя *IV*. Заготовка при этом захватывается кулачками *9*, находящимися в устройстве. В дальнейшем при движении перегружателя в положение *В* заготовка перемещается от левого блока к правому. При подходе к правому блоку устройство для захвата находит на упор *10* и останавливается в близком расстоянии от цангового патрона *11* шпинделя *V*. В этом положении происходит смещение вниз защелки *12*, благодаря чему освобождается верхняя часть досылателя, которая продолжает двигаться вперед.

От перемещения верхней части досылателя с помощью шестерен и реек (на чертеже не показано) осуществляется поворот досылателя до тех пор, пока толкатель досылателя не встанет по оси шпинделя. В этом положении досылатель перемещается вперед и заготовка заталкивается в цанговый патрон *II* шпинделя, после чего перегружатель возвращается в исходное положение *А*.

Выгружатель состоит из отводящего лотка *12* и устройства для снятия кольца *13*, перемещаемого вдоль оси от штока цилиндра *14*. В устройстве для снятия кольца имеются качающиеся зацепы *15*, которыми кольцо вынимается из патрона и заталкивается в лоток. Это получается за счет того, что при входе в кольцо зацепы, наталкиваясь на упоры *16*, сжимаются, а, пройдя кольцо,



Фиг. 15. Загрузочно-выгрузочное устройство двухблочного восьмишпиндельного токарного автомата 02С01.

распрямляются, при этом выступы зацепов оказываются сзади его. При обратном ходе устройства для снятия в положении, когда кольцо находится в лотке. концы зацепов снова сжимаются, и устройство выходит из кольца. Освобожденное кольцо скатывается по лотку из автомата.

Устройство для загрузки и выгрузки колец одношпиндельного доделочного токарного автомата 02С03

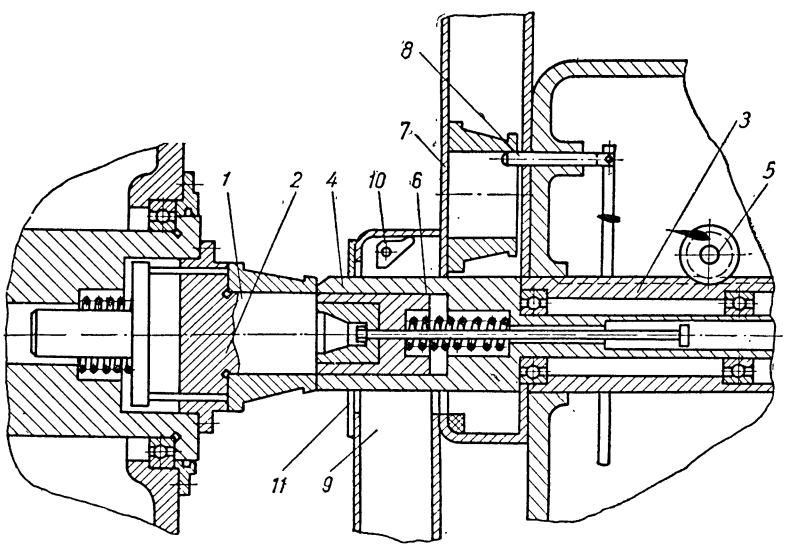
Для загрузки колец в одношпиндельный доделочный токарный автомат типа 02С03 и выгрузки их после окончательной обработки роликовой дорожки

Осевое перемещение досылателя *3* производится от кривой барабана автомата, системой рычагов и реечной шестерней *5*.

Внутри гильзы *4* расположен держатель, наружный диаметр которого соответствует диаметру отверстия кольца (с необходимым зазором). Держатель *6* находится под воздействием пружины, стремящейся вытолкнуть его из гильзы.

В целях повышения точности обработки во время зажима кольца предусмотрено центрирование гильзы по конусу оправки.

Подача колец на автомат производится по лотку *7*, в котором имеется отсекатель *3*, действующий от электромагни-



Фиг. 16. Устройство для загрузки и выгрузки колец одношпиндельного доделочного токарного автомата 02С03.

разработано устройство, показанное на фиг. 16, позволяющее производить загрузку и выгрузку колец на ходу, без остановки шпинделя автомата.

В шпинделе автомата предусмотрена оправка *1*, служащая для фиксации обрабатываемого кольца (по отверстию). Сзади оправки в шпинделе смонтирован выбрасыватель *2*, действующий от пружины.

Необходимый при обработке зажим кольца на оправке осуществляется за счет осевого усилия, получаемого от досылателя *3*, имеющего в левой своей части свободно вращающуюся на подшипниках качения гильзу *4*.

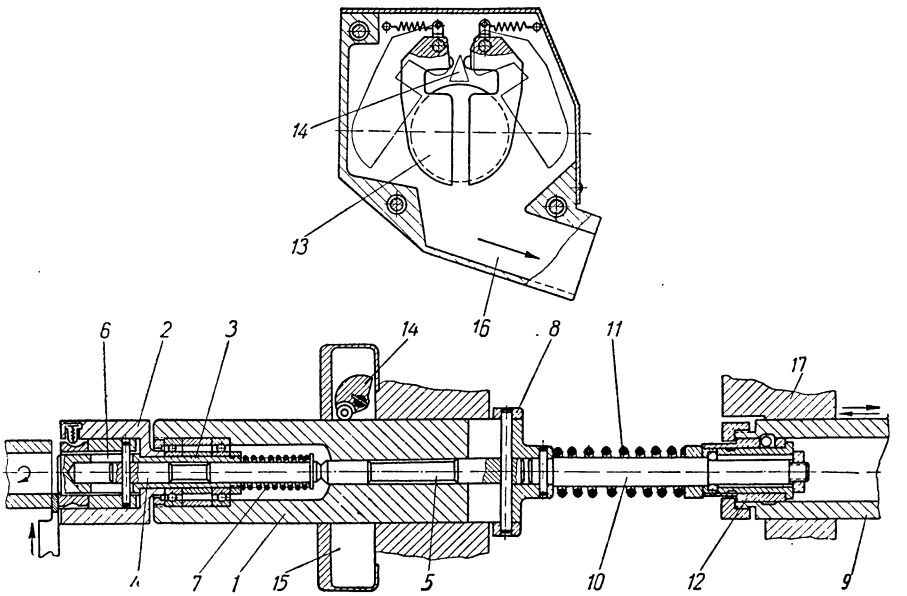
та. Выгрузка обработанного кольца осуществляется через лоток *9*, снабженный зацепом *10*. Во избежание попадания стружки в лоток в последнем предусмотрены раздвигающиеся створки *11*.

Работа устройства происходит следующим образом; по окончании обработки кольца досылатель *3* начинает перемещаться вправо, при этом держатель *6* остается на месте в течение времени, достаточного для того, чтобы выталкиватель сдвинул кольцо с оправки *1* на держатель *6*.

При дальнейшем перемещении досылателя *3* кольцо держателем заводится в лоток *9*, где, наталкиваясь своим бор-

том на зацеп *10*, остается на месте. Дальнейшее перемещение досылателя приводит к сбросу кольца с досылателя в лоток *9*.

При крайнем правом положении досылатель с гильзой *4* и выступающим из нее держателем *6*, пройдя лоток *7*, освобождают в нем место для того, чтобы



Фиг. 17. Устройство для съема колец шестишпиндельного токарного автомата 01С05.

очередное кольцо, освободившись от отсекателя *8*, опустилось в нижнюю часть лотка и встало по оси досылателя *3*. В этом положении кольца досылатель *3* начинает двигаться влево и устанавливает кольцо на оправку.

Время выгрузки и загрузки кольца составляет 10—12 сек.

Устройство для съема колец шестишпиндельного токарного автомата 01С05

На шестишпиндельном токарном автомате 01С05 для полной токарной обработки внутренних колец подшипников 307К1 применяют устройство для выгрузки колец, приведенное на фиг. 17.

Устройство состоит из штанги *1*, несущей на себе головку *2*. Головка *2* сидит на втулке *3*, смонтированной на подшипниках в штанге *1*. Внутри штанги через втулки *3* пропущены скалки *4* и *5*. Скалка *4* на переднем конце несет выталкиватель *6*, а на заднем — пружину возврата выталкивателя *7*. Скалка *5* через штифт жестко связана с упором *8*. Штифт упора проходит через овальный паз штанги *1*. Штанга *1* проходит через кронштейн и соединена с ведущим цилиндром *9* скалкой *10*, на которых имеется пружина *11* предохранительной муфты *12*.

Работа механизма осуществляется в следующей последовательности.

При перемещении позиций блока, на которых произведена полная обработка кольца, в положение отрезки и разгрузки, выгружатель надвигается головкой *2* на конец трубы, несущей обработанное кольцо. Фиксатор головки входит в желоб кольца. После окончания обработки кольцо остается в головке. Штанга *1* перемещается цилиндром *9* в крайнее правое положение. Упор *8* упирается в кронштейн *17* и начинает толкать скалку *5*, которая перемещает скалку *4* и вместе с ней выталкиватель *6*. Выталкиватель *6* сбрасывает кольцо в приемную часть лотка *15*.

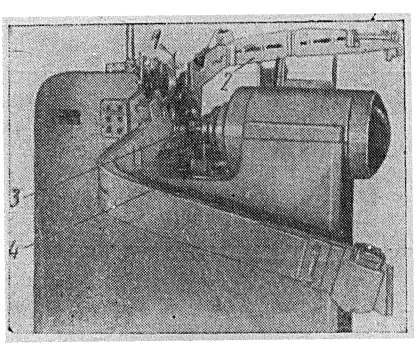
Для предотвращения выпадания кольца в отверстие лотка, через которое прошла штанга *1*, имеются заслонки *13*, раздвигаемые упором на штанге кулачком *14*. Затем кольцо проходит через отводящий лоток *16*. Проход кольца контролируется двумя контактными датчиками ДК-1.

Команда на продолжение цикла дается после прохода колец через оба датчика, отводящих лотков. Если одно из двух колец не проходит мимо датчика (застряло в лотке или не отрезалось), автомат останавливается. В случае, если кольцо имеет нерасточенное отверстие (поломка инструмента), конечные выключатели, контролирующие ход штанг и скалок, не срабатывают, что приводит к остановке автомата. Поломку механизма выгрузки в этом случае предупреждает муфта *12*, установленная на трубе *9*. Она же предупреждает поломки механизмов, связанные с застреванием колец в лотке *13* при поломке отрезного резца.

Снятие обработанного кольца производится во время работы остальных шпинделей.

Устройство для загрузки и выгрузки колец из пресса для клеймения

Клеймение торца кольца производится на гидравлическом прессе горизонтального типа (фиг. 18). Устройство для



Фиг. 18. Автоматический гидравлический горизонтальный пресс для клеймения колец.

загрузки и выгрузки состоит из диска *1* с шестью пазами, выполненными по форме кольца. Диск через каждый цикл поворачивается на 60°. Поворот осуществляется от гидравлического цилиндра через реечную пару. В конце поворота диска предусмотрена его фиксация. Подача колец к диску производится от лотка *2*, а отвод колец после клеймения — по лотку *4*.

Кольца клеймятся пуансоном *3*, несущим клейма. Для того чтобы кольца не выпали из пазов диска в то время, когда они опускаются в нижнее положение, в прессе имеется ограничительная планка в виде полукольца.

Команда на поворот диска дается при крайнем положении пуансона.

Такт работы пресса 5—6 сек.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Термическое отделение цеха, в котором производится термическая обработка колец подшипников нормальной точности, состоит из участков для обработки: 1) колец шарикоподшипников; 2) внутренних колец роликоподшипников и 3) наружных колец роликоподшипников.

Каждый термический участок автоматизирован и работает независимо от других участков, так же как термическое отделение в целом может работать независимо от других смежных отделений (токарного и шлифовального).

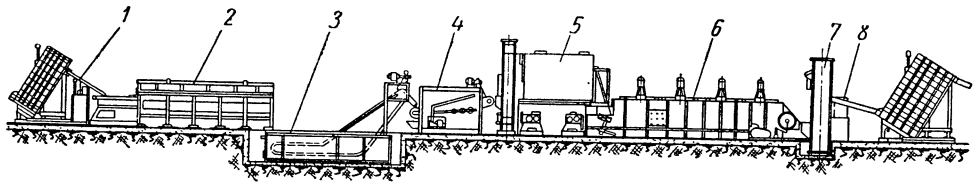
Характеристика оборудования, встроенного в термический участок, приведена в таблице.

Кольца укладываются на конвейер электропечи автоматом для раскладки (фиг. 19), все механизмы которого смонтированы на сварной станине *1*; внутри нее имеется привод, состоящий из электродвигателя постоянного тока и главного редуктора *3*. Механизм раскладки колец состоит из отсекающего диска *4*, устройства для смещения колец *5* и выдающей заслонки *6*.

Отсекающий диск *4* и устройство для смещения колец *5* приводятся в движение от распределительного вала *7*. Дополнительный редуктор *8* предназначен для подъема заслонки с помощью кулачка *9*.

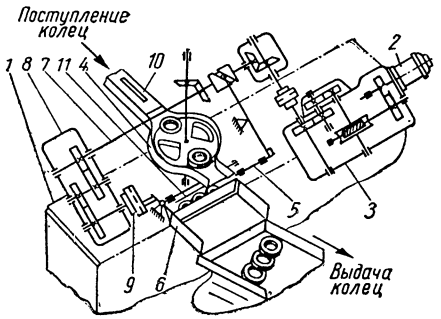
Кольца поступают в лоток *10* и по 1 шт. попадают в паз диска *4*, который поворачивает кольцо на 180° и выдает его на склиз *11*. Кольцо упирается в заслонку *6* и перемещается толкателем устройства для смещения колец вдоль заслонки на величину, несколько бо́льшую диаметра кольца.

Характеристика оборудования термических участков



Назначение термического участка	Агрегаты							
	Автоматический раскладчик *1*	Закалочная печь *2*	Закалочный бак *3*	Моечная машина *4*	Установка для подсушки и обработки холодом *5*	Отпускная печь *6*	Установка для охлаждения колец после отпуска *7*	Установка для зачистки выпуклостей базовых торцов колец *8*
Для обработки колец 307К1	Тип 01ТОТ	Тип ЦЭП-127 с пульсирующим подом; размер 0,4 × 2,4 *м*; мощность 75 *квт*	Конвейерный ОКБ-184; емкость 6 *м*³	Конвейерная; тип ОКБ-136; емкость 1,2 *м*³	Конвейерная; тип 02П04 с компрессорно-конденсаторным агрегатом холодопроизводительностью 4600 *ккал/час*	Конвейерная; тип ОКБ-152; размер 0,5 × 6 *м*; мощность 55 *квт*	Тип 02П05	Наждачный станок специальной конструкции
Для обработки внутренних колец 7815К1	Тип 021081	Тип ОКБ-134 с пульсирующим подом; размер 0,6 × 4 *м*; мощность 150 *квт*	То же	То же	То же	То же	То же	Полуавтоматический станок специальной конструкции типа 02С39 обслуживает одновременно участки наружных и внутренних колец 7815К1
Для обработки наружных колец 7815К1	Тип 02Т08	Конвейерная; тип К-160; размер 0,6 × 4 *м*, мощность 160 *квт*	»	»	»	»	»	»

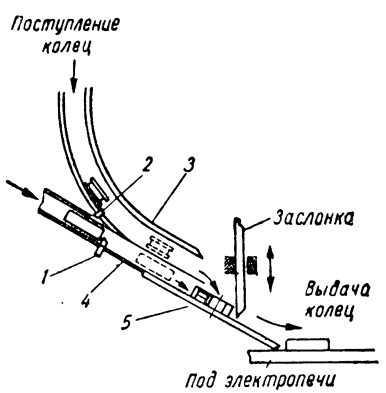
Накопление колец по фронту заслонки происходит до тех пор, пока оно не достигнет количества, заданного для одного ряда колец (4 шт. наружных колец 7815К1 и 5 шт. внутренних).



Фиг. 19. Схема автоматического устройства для раскладки колец.

Под действием кулачка *9* заслонка открывается и скомплектованный ряд выдается на под электропечи.

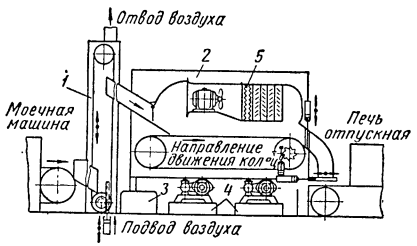
Раскладка колец подшипника 307К1 производится по 5 шт. в ряд комплектно, т. е. наружное кольцо вкладывается во внутреннее. Конструкция автомата однотипна с описанной выше, за исключением устройства для раскладки (фиг. 20), имеющего здесь два отсекателя: *1* — для наружных колец и *2* — для внутренних.



Фиг. 20. Схема раскладки колец шарикоподшипника.

Отсекатели приводятся в движение от кулачка распределительного вала. Наружные и внутренние кольца катятся по лоткам из автоматических магазинов и задерживаются отсекателями. Последние обеспечивают выдачу колец на склиз заслонки по 1 шт. и выдают сначала наружное, а потом внутреннее кольцо. Лоток *3* с внутренними кольцами установлен над лотком *4* наружных колец, вследствие чего внутреннее кольцо, выданное отсекателем позднее, при падении на склиз *5* попадает в наружное кольцо.

Далее происходит смещение колец толкателем на один шаг и выдача скомплектованного ряда по схеме, описанной ранее для колец подшипников 7815К1.



Фиг. 21. Установка для обработки колец холодом.

Регулирование производительности раскладчика осуществляется шунтовым регулятором электродвигателя и колеблется в пределах от 100 до 220 шт. в час для колец 7815К1 и от 120 до 300 комплектов в час для колец 307К1.

Для нагрева колец, закалки в масле, промывки и отпуска в автоматическом термическом отделении были использованы серийные агрегаты, выпускаемые заводами треста «Электропечь» с некоторыми изменениями.

Установка для обработки колец холодом (фиг. 21) состоит из подъемника *1* и герметичной холодильной камеры *2*. Привод подъемника, заслонок и транспортера камеры осуществляется от гидростанции *3*, включение которой производится периодически от реле времени с заданным циклом 3,5 мин.

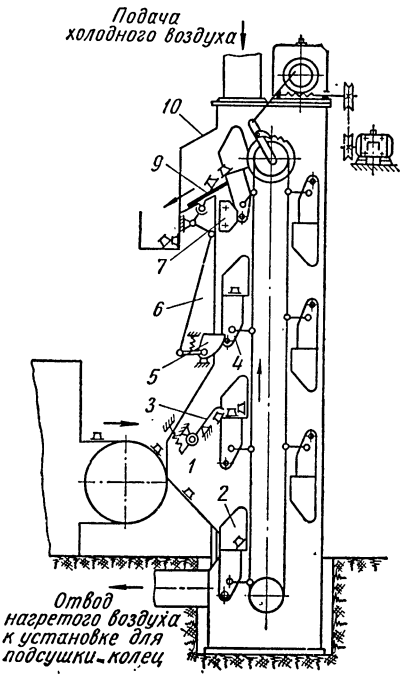
Необходимая температура в камере поддерживается холодильной фреоновой установкой, имеющей два компрессора *4* типа АК2ФВ8/4, ребристые батареи *5*, испарители, секцию нагревательных элементов, вентилятор и другие приборы. Регулирование температуры в камере осуществляется электронными мостами с контролем температуры термометрами сопротивления, установленными в трех зонах камеры.

Сушка колец в подъемнике *1* производится в течение 3,5 мин. воздухом, на-

гретым горячими кольцами в установке для охлаждения колец после отпуска.

Через подъемник кольца загружаются в камеру, проходят в течение 45 мин. обработку холодом и поступают в отпускную печь.

Установка для охлаждения колец после отпуска представляет собой подъемник ковшового типа (фиг. 22).

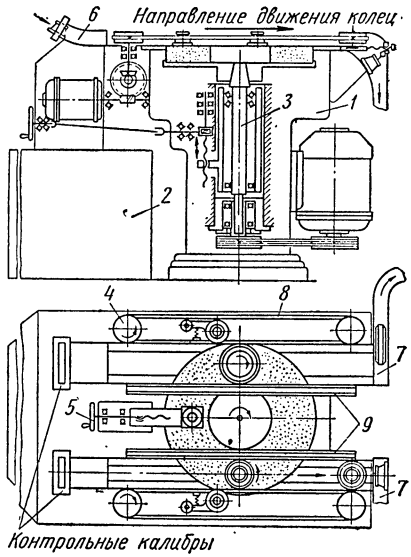


Фиг. 22. Установка для охлаждения колец после отпуска.

Кольца навалом поступают из отпускной электропечи в загрузочный бункер установки *1*, откуда загружаются в ковши *2* подъемника и транспортируются к разгрузочному лотку *10*. Ролики ковша, направляемые специальной кривой *7*, поворачивают ковш вокруг подвесок и опрокидывают. Кольца разгружаются в лоток, а оттуда попадают на установку для зачистки торцов. Для предотвращения заклинивания колец между ковшами и передней стенкой подъемника имеется заслонка *3*, которая сбрасывает с ковша кольца, вышедшие за его габариты.

Кроме того, широкий проем между передней стенкой подъемника и ковшами обеспечивает свободный проход ковша с кольцами. Для предотвращения падения колец через проем вниз разгрузочный лоток *10* имеет подвижное дно *9*, которое подходит вплотную к ковшу в тот момент, когда происходит разгрузка колец. Дно *9* приводится в движение от ролика ковша *4* через кулачок *5* и систему рычагов *6*.

Охлаждение колец осуществляется воздухом, подведенным к крышке подъемника.

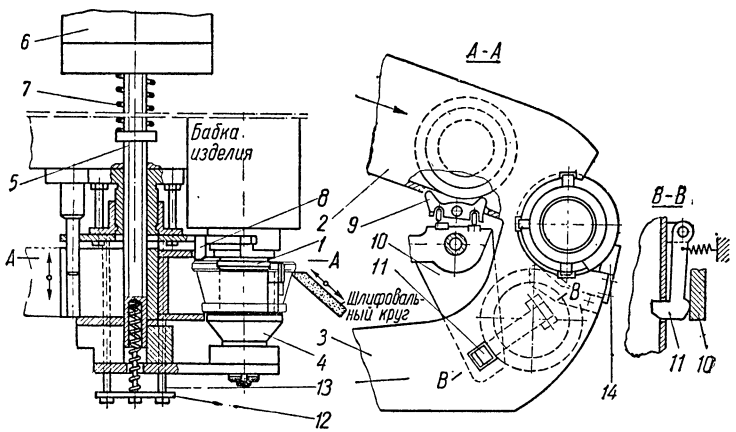


Фиг. 23. Автоматический станок для контроля по максимальным габаритным размерам и для зачистки выпуклостей металла.

Контроль колец по максимальным габаритным размерам, а также зачистка выпуклостей металла на торцах колец подшипника 7815К1, возникших после клеймения, производятся на автоматическом станке (фиг. 23). Станок состоит из станины *1*, помоста *2*, шлифовальной бабки *3*, ведущих роликов *4*, приспособления для правки шлифовального круга *5*, подводящих лотков с калибрами *6* и отводящих лотков *7*. Кольца, поступившие из установки для охлаждения, пропускаются через проемы, имеющиеся в калибрах *6*, в зависимости от вида колец, попадают в тот или иной подводящий лоток и проталкиваются по шлифовальному кругу посредством клино-

ременной передачи *8*. Кольцо прижимается ремнем к ведущей неподвижной линейке *9* и под действием силы трения провертывается вокруг своей оси в зоне шлифовального круга 2—3 раза.

Управление участком осуществлено по схеме последовательного включения агрегатов в работе от собственных пусковых станций. По мере пуска каждый из агрегатов включается в звукосветовую участковую систему сигнализации.



Фиг. 24. Загрузочно-выгрузочное устройство бортикошлифовального автомата 02С34.

Об остановке того или иного агрегата или выходе из строя отдельных его элементов, а также о нарушении температурного режима в закалочных и отпускных печах в результате неисправности нагревателей и т. п. наладчика предупреждает звуковой сигнал. Одновременно включается световая сигнализация.

В зависимости от включения той или иной лампочки на пульте-искателе остановок наладчик определяет агрегат, вышедший из строя, и принимает необходимые меры. Учет колец, принятых на участок и выданных с участка, производится специальными счетчиками типа СЭИ-1.

ШЛИФОВАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Загрузочно-выгрузочное устройство бортикошлифовального автомата 02С34

Шлифование опорного борта у внутренних колец роликоподшипников производится на бортикошлифовальном автомате типа 02С34. Устройство для загрузки и выгрузки колец монтируется на бабке изделия (фиг. 24). Обрабатываемое кольцо базируется на короткой оправке *1* (по отверстию) с поджимом к широкому торцу. Устройство имеет лотки приема *2* и выдача *3*, по которым кольцо поступает в автомат для шлифования борта и выходит после обработки. Установка кольца на оправку и требуемый прижим вдоль оси осуществляются досылателем *4*, действующим от штока *5* пневмоцилиндра *6*.

При обратном ходе штока, перемещаемого от пружины *7*, производится снятие кольца с оправки при помощи выталкивателя *8*, соединенного со штоком цилиндра.

Для отсекания столба колец при выдаче очередного кольца в лотке приема предусмотрен качающийся отсекатель *9*, получающий необходимое качание от кулачка *10*, укрепленного на штоке *5*.

В лотке выдачи смонтирован держатель *11*, задерживающий обработанное кольцо в лотке в то время, когда последующее кольцо устанавливается на оправку. Работа устройства происходит следующим образом: по окончании процесса шлифования борта от измерительного устройства, проверяющего во время обработки толщину борта, дается команда на отвод шлифовальной бабки и досылателя *4*. Под действием пружины *7* перемещается шток *5*, а вместе с ним досылатель *4* до тех пор, пока последний не упрется в планку *12*.

При дальнейшем перемещении штока начнет двигаться планка *12* и через штанги *13* выталкиватель *8*, который столкнет с оправки кольцо.

В крайнем положении штока нижняя часть кулачка *10* нажата на держатель *11*, в результате чего зуб держателя, войдя внутрь лотка выдачи *3*, временно держит обработанное кольцо в лотке. В то же время верхняя часть кулачка *10*, наталкиваясь на ролики отсекателя *9*, несколько поворачивает отсекатель в положение, при котором левый зуб его становится выше правого, что приводит к пропуску очередного кольца из лотка приема на выгрузку.

Кольцо скатывается из лотка приема и устанавливается в лотке выдачи на упор *14* и нижнее обработанное кольцо по оси оправки. В этом положении кольца дается подача воздуха в пневмоцилиндр устройства. Шток движется вперед, при этом вначале досылатель, нажимая на кольцо, производит посадку его на оправку, в дальнейшем кулачок *10* сходит с держателя *11*. Держатель *11* откидывается в сторону, и ранее обработанное кольцо скатывается по лотку выдачи из автомата.

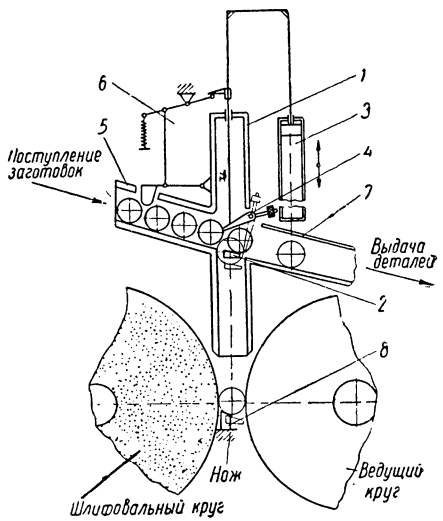
В начале работы станка установка первого кольца в лотке выдачи на держатель производится наладчиком вручную (путем пропуска кольца из лотка выдачи). В дальнейшем загрузка и выгрузка колец происходит автоматически.

Загрузочно-выгрузочное устройство бесцентрового желобошлифовального автомата 01С25

Для загрузки и выгрузки внутренних колец шарикоподшипников в желобошлифовальном автомате типа 01С25 применяется устройство следующей конструкции (фиг. 25): загрузочная шахта состоит из стойки *1*, каретки *2*, действующего от гидроцилиндра *3*, отсекателя с противовесом *4*, подводящего лотка *5* с отсекающим механизмом *6* и отводящего лотка *7*.

При загрузке кольца в автомат каретка *2* начинает опускаться вниз и под действием напора колец, находящихся на подводящем лотке *2*, происходит отклонение отсекателя *4*, в результате чего только одно кольцо закатывается в каретку, а остальные кольца задерживаются отсекателем.

При дальнейшем опускании каретки кольцо устанавливается на нож *8* и в этом положении производится шлифование до тех пор, пока от измерительного прибора поступит команда на прекращение процесса шлифования и на возврат каретки с кольцом в исходное положение. В этом положении обработанное кольцо под действием собственного веса и наклонной плоскости каретки, на которой оно находится, выкатывается из



Фиг. 25. Загрузочно-выгрузочное устройство бесцентрового желобошлифовального автомата 02С05.

каретки в отводящий лоток *7*. Далее цикл работы устройства повторяется.

В автоматах 02С35 для шлифования роликовой дорожки внутренних колец роликоподшипников предусмотрено загрузочно-выгрузочное устройство аналогичной конструкции.

СБОРОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

В состав сборочного отделения входит автомат 01А03 для сборки шарикового подшипника 307К1, описание которого приводится.

В автомат 01А03 (фиг 26) поступают следующие детали шарикоподшипника:

1) автоматически аттестованный комплект колец по средней разнице диаметров желобов;

2) комплект шариков на данный комплект колец;

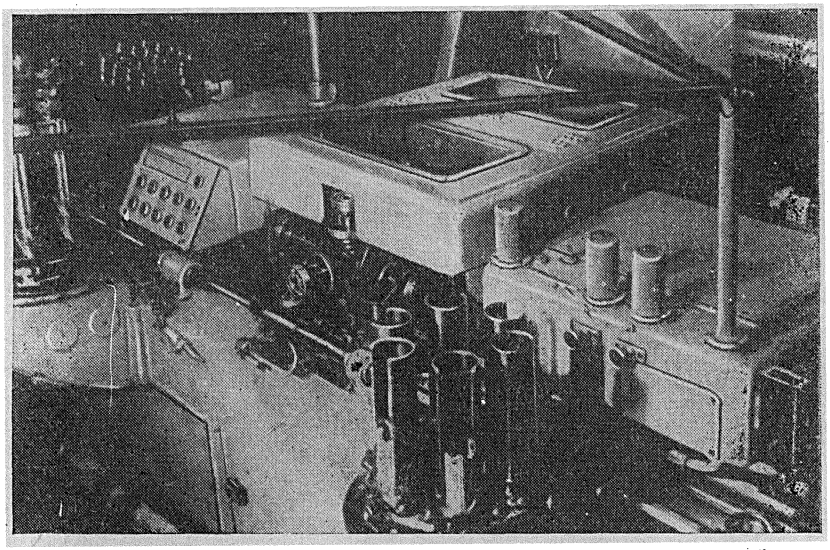
3) верхний полусепаратор;

4) нижний полусепаратор.

Сборка на автомате 01А03 производится на десяти позициях.

Для верхнего и нижнего полусепараторов установлены бункеры, ориентирующие сепараторы в угловом направлении и выдающие по 1 шт. на позиции укладки полусепараторов в подшипник.

Все механизмы, расположенные на позициях, кроме позиции обжима, приво-



Фиг. 26. Общий вид сборочного автомата 01А03.

Затем собранный шарикоподшипник перемещается транспортером на контрольную позицию.

Сборка шарикоподшипников осуществляется при последовательном перемещении деталей с позиции на позицию транспортером, имеющим возвратно-поступательное движение вдоль оси и поворот транспортирующих вилок в угловом направлении.

На рабочих сборочных позициях шарикоподшипник фиксируется транспортирующими вилками.

дятся в движение от кулачков рычажной и реечно-шестеренной системой и связаны в автомате жестким циклом.

Загибка усиков (обжим сепаратора) производится гидравлическим цилиндром, так как эта операция связана с большими усилиями.

В автомате предусмотрены контрольные и противоаварийные блокировки, исключающие случаи поломки механизмов.

Сборка производится одновременно на всех десяти позициях.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Барсуков А. А. и др., Исследование причин заедания золотников на автоматической линии 1ГПЗ, ЭНИМС, 1958.
2. Бобров В. П., Комплекс устройств для питания автоматического цеха 1ГПЗ, «Механизация и автоматизация производства» № 9, 1959.
3. Власов С. Н., Структура построения автоматической линии для производства подшипников, «Станки и инструмент» № 10, 1956.
4. Власов С. Н. и Козьминых Ю. К., Загрузочно-разгрузочные устройства к станкам автоматических линий по производству подшипников, «Станки и инструмент» № 5, 1958.
5. Дербишер А. В. и Морозов В. А., Комплексная автоматизация — важнейшее звено технического прогресса, «Правда» от 7 марта 1957 г.
6. Заикин Н. Н., Шлифовальные автоматы подшипниковых автоматических линий, «Бюллетень ТЭИН» № 3, 1957.

7. Жуховицкий А. Ф., Автоматизация технологических процессов в машиностроении, ЦБТИ Мосгорсовнархоза, 1959.
8. Жуховицкий А. Ф., К вопросу об ускорении темпов освоения автоматического оборудования, «Вестник машиностроения» № 7, 1954.
9. Жуховицкий А. Ф., Развитие автоматизации на заводах автомобильной и подшипниковой промышленности, «Технология автомобилестроения» № 2, 1957.
10. Жуховицкий А. Ф., Ускорить автоматизацию производства на машиностроительных заводах, «Правда», от 3 апреля 1956.
11. Козьминых Ю. К., Транспортные устройства токарного участка автоматических линий по производству подшипников, «Станки и инструмент» № 1, 1956.

ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ. Справочное пособие.

Редактор издательства *Н. Ю. Благосклонова*
Технический редактор *Т. Ф. Соколова.* Корректор *Е. В. Якиманская*
Переплет художника *А. Я. Михайлова*

Сдано в производство 26/IX 1960 г. Подписано к печати 31/VII 1961 г. Т-08921. Тираж 25000 эк (1-ый завод 1—15000). Печ. л. 52,5 (2 вклейки). Бум. л. 26,25. Уч.-изд. л. 71. Формат 60 × 92 1/ Зак. 1490.

Харьковская типография Госгортехиздата. Харьков, ул. Энгельса, 11.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
VII	21-я снизу	*Кибанов*	*Кабанов*
3	Табл. 1, 3-я графа, 2-я снизу	16000	160000
23	1-я снизу	образовании	обозначении
44	Продолж. табл. 1, 6-я и 7-я графы, 6-я сверху	| 74,5 | 56,5 |	| 56,5 | 74,5 |
64	Продолж. табл. 10, 3-я графа справа, 4-я снизу	1 126 000	11 260 000
66	Табл. 11, 6-я графа	D_1	d_1
71	Табл. 14, 1-я графа, 1 и 2-я сверху	+6016 66017К	6016 + 6017К
80	Продолж. табл. 17, 1-я графа, 4-я снизу	11620	116320
85	Продолж. табл. 18, 3-я графа, 9-я снизу	250	215
95	Табл. 23, 2—4-я графы справа, 1-я сверху	9| |1380	9 | 11900 | 1380
127	Левая колонка, 5-я снизу	$\pm 5AH$	$\pm 0{,}5A$
187	Правая колонка, 8-я сверху	$2C_1^0$	$2C_1'$
200	Правая колонка, 4-я снизу	($v = 25$ 30 *м/сек*)	($v = 25 \div 30$ *м/сек*)
206	Левая колонка, 3-я снизу	$\frac{C}{[R \cdot K_K + m(A_0 \pm 0{,}5A)]K_6 K_T}$	$\frac{C}{[RK_K + m(A_0 \pm 0{,}5A)]K_6 K_T}$
229	Левая колонка, 1-я сверху	втулке на	втулке; на
230	Табл. 17, 1-я графа, 2-я снизу	> 300	< 300
261	Назв. табл. 6, 2-я и 3-я сверху	осевого заряда	основного ряда
273	Правая колонка, 16-я снизу	n_0	$n_в$
292	Левая колонка, 11-я и 12-я снизу	валентности	
307	Левая колонка, 3-я сверху	d_c	d_c'
310	Левая колонка, 8-я сверху	3578-54	3478-54
311	Правая колонка, 1-я сверху	четного	целого
340	Продолж. табл. 1, 3-я графа, 12-я сверху	0,6 — 0,7	Кольца, шарики, ролики
341	2-я графа справа	Прочие	V
356	Табл. 16, 1-я графа, 2-я снизу	600°	800°
358	Подпись под фиг. 55	ШХ15 + 20% V	ШХ15 + 0,20% V
363	Левая колонка, 9-я снизу	отрицательна при	отрицательна, при
363	Правая колонка, 8-я снизу	; O — геометрический	— геометрический
367	Левая колонка, 19-я снизу	табл. 23	табл. 24
381	Табл. 43, 4-я графа	Выдержка при нагреве	Выдержка при нагреве в мин.
392	Левая колонка, 13-я снизу	1,115	111,5
393	Подпись под фиг. 118, 3-я снизу	20%	90%
405	Левая колонка, 9-я снизу	S_K	σ_K
408	Правая колонка, 15-я снизу	стоимость	стойкость
418	Продолж. табл. 3, 2-я графа справа, 6-я снизу	800-60	800-55
435	Левая колонка, 12-я снизу	$(D^2 + \Delta)^2$	$(D + \Delta)^2$
442	Правая колонка, 1-я сверху	чистого	черного
446	Продолж. табл. 32, 2-я графа, 18-я и 20-я сверху	$q^y =$	$q_y =$
446	5-я графа справа	$L_{мс}$	$L_{мост}$
447	Продолж. табл. 32, 2-я графа, 12-я снизу	$Q_{ис} = \frac{q_K}{L_K}(L - d_{пр})$	$Q_{исп} = \frac{q_K}{L_K}(L_K - d_{пр})$
449	Продолж. табл. 33, 2-я графа, 9-я снизу	$-0{,}006165\left(\frac{D-D'}{2}\right)^2 s_1 1000$	$-0{,}006165\left(\frac{D-D'}{2}\right)^2 s$
508	Табл. 5, 2-я графа	40—120	40—90
509	Правая колонка, 1-я снизу	120 *мм*	90 *мм*
510	Табл. 7, 3-я графа, 2-я сверху	20—25	20—50
к 511	Табл. 8, 8-я графа, 2-я сверху	80—160	80—200
511	3-я сверху	50—130	50—160

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
524	Левая колонка, 18-я и 19-я сверху	кругами. На	кругами на
532	Правая колонка, 7-я сверху	$\alpha = 1{,}0$,	$\alpha = 10°$
534	Табл. 23, 3-я графа, 3-я снизу	$^1/_5 - ^1/_4$	$^1/_5 - ^1/_2$
537	Правая колонка, 32-я сверху	одного из	одного прохода из
550	Правая колонка, 2-я снизу	$s_1 s_0$	s_1
550	12-я снизу	$s_2 s_2$	s_2
590	Правая колонка, 15-я и 16-я сверху	по образующей	под углом к образующей
594	Правая колонка, 3-я сверху	18—24 *кГ*	12—18 *кГ*
632	Табл. 6, 3-я графа, 4-я сверху	ЭБ46СТ1К	ЭБ40СТ1К
632	6-я сверху	ЭБ46С2К	ЭБ40С2К
633	5-я графа справа, 1-я сверху	Э10100С1В	Э10-12С1В
636	Табл. 8, 10-я графа, 1-я сверху	Э80СТ1Б	Э16СТ1К
636	4-я сверху	Э80С2Б	Э16С2К
638	2-я снизу	малого	максимального
641	Правая колонка, 23-я сверху	0,045—0,5	0,045—0,05
650	Табл. 18, 3-я графа, 4-я сверху	500—75	500 × 75
652	Табл. 20, 5-я графа справа	шлифования диска	шлифовального диска
653	Табл. 21, заголовок	качания	качения
656	Подпись под фиг. 3	в полусепаратор	в сепаратор
668	Табл. 4, 3-я графа, 3-я снизу	Проверка параметров 2, 13, 14	Проверка параметров 13, 14
672	Правая колонка, 8-я снизу	$-2x \cos \alpha$	$- 2X \cos \alpha$
672	1-я снизу	$-2 (l_1 + X) = d_n - 22 e$	$-2 (l_1 + X) \cos \alpha = d_n - 22s \cos \alpha$
673	Левая колонка, 2-я сверху	$- 2l_1 + 1 = d_n - 14{,}8s + 1$ *мм*	$-2l_1 \cos \alpha + 1 = d_n - 14{,}8s \cos \alpha + 1$ *мм*
710	Подпись под фиг. 8	*2* — калибр для измерения; *3* — индикатор.	*3* — калибр для измерения; *2* — индикатор
781	Правая колонка, 16-я сверху	$1A° = 10^4$ — *мк*	$1A° = 10^{-4}$ *мк*
784	Правая колонка, 13-я снизу	кольце вибродатчики	кольце крепятся вибродатчики

ПОПРАВКИ

На стр. 35 и 36 в 3-й графе слева вместо *d* должно быть *a* (толщина среднего кольца). Соответственно нужно исправить фиг. к табл. 10.

На стр. 52 вместо размеров b_1 на эскизах типов 52000 и 62000 должны быть B_1.

На фиг. 54 (стр. 358) нижняя кривая должна быть обозначена поз. *1*, а верхняя — *2*.

На стр. 712 нижняя левая фигура должна быть помечена буквой *б*).

На стр. 828 в выходных данных ошибочно напечатано «Тираж 25000 экз. (1-й завод 1—15000)». Следует читать «Тираж 25000 экз.»