

**А. И. ЖАБИН
А. П. МАРТЫНОВ**

СБОРКА ИЗДЕЛИЙ В единичном и мелко- серийном производстве

МАШИНОСТРОЕНИЕ

621.757
Ж12

А.И. ЖАБИН
А.П. МАРТЫНОВ

СБОРКА ИЗДЕЛИЙ В единичном и мелко- серийном производстве

17350



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1983

Рецензент инж. Г. П. Энгельке

Жабин А. И., Мартынов А. П.
Ж12 Сборка изделий в единичном и мелкосерийном производстве. — М.: Машиностроение, 1983. — 184 с., ил.
65 к.

В книге описаны прогрессивные средства механизации и методы сокращения трудоемких слесарных работ при сборке, обоснованы пути повышения собираемости изделий, совершенствования технологии сборки и испытания машин, улучшения технологической подготовки и организации сборочного производства.

Книга предназначена для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий.

Ж 2704090000-088
038(01)-83 → 88-83

ББК 34.68:
6П5.4

ИБ № 3254

Александр Иванович Жабин, Анатолий Павлович Мартынов

СБОРКА ИЗДЕЛИЙ В ЕДИНИЧНОМ И МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Редактор Л. Н. Корякина
Художественный редактор И. К. Капранова
Технический редактор В. И. Орешкина

Корректоры В. Е. Блохина и А. М. Усачева. Обложка художника Г. Г. Черниговец

Сдано в набор 19.08.82. Подписано в печать 08.12.82. Т-21422. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 11,5.
Уч.-изд. л. 12,64. Тираж 5000 экз. Заказ 1810. Цена 65 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Б-76, Стромынский пер., 4

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

© Издательство «Машиностроение», 1983 г.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие требования, предъявляемые в настоящее время к точности и долговечности машин, связаны с необходимостью изыскания и внедрения прогрессивных технологических процессов и методов производства, обеспечивающих высокую производительность и качество выпускаемых изделий.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусмотрено «увеличить выпуск продукции машиностроения и металлообработки не менее чем в 1,4 раза». Увеличение выпуска продукции машиностроения и уменьшение трудовых затрат должны обеспечиваться совершенствованием существующих и внедрением новых технологических процессов, средств механизации и автоматизации, повышением эффективности организации и управления производством.

Это особенно относится к сборке, как завершающей стадии производственного процесса изготовления изделий. Достижение заданных точностных и эксплуатационных параметров изготавливаемых машин в значительной степени зависит от качества выполнения слесарно-сборочных работ. В процессе сборки машин возникают отклонения вследствие накопления линейных и угловых погрешностей в цепи сопрягаемых размеров деталей, возникающих под влиянием их массы, сил закрепления, перераспределения внутренних остаточных напряжений и т. п. Технологический процесс сборки должен учитывать эти факторы и отвечать всем требованиям служебного назначения машины.

Как свидетельствует опыт многих машиностроительных предприятий, а также исследования советских и зарубежных ученых, в последние 10—12 лет имеет место тенденция относительного увеличения трудозатрат на сборку. Причем наметившееся отставание уровня технологии сборки от совершенствования других технологических процессов столь серьезно, что проблема сборки в настоящее время стала одной из определяющих в дальнейшем развитии машиностроения. Такое положение объясняется объективными трудностями и специфическими особенностями механизации и автоматизации сборочных процессов, а также из-за того, что сборка, как никакой другой процесс,

может быть выполнена не только механизированными средствами, но и вручную.

Особенно это характерно для условий единичного и мелкосерийного производства, доля продукции которого в общем объеме выпуска машиностроительных изделий наибольшая, а уровень механизации слесарно-сборочных работ весьма низок. Решение этой задачи затрудняется еще и тем, что в нашей стране отсутствуют специализированные заводы по выпуску сборочного технологического оборудования, в весьма ограниченных объемах производятся также необходимые средства механизации сборочных операций.

Практика показывает, что одни и те же слесарно-сборочные операции выполняют на разных заводах с помощью самых разнообразных средств механизации и технологических решений в отдельных отраслях машиностроения. Между тем основные принципы и методика подхода к совершенствованию технологических процессов сборки определяются не отраслевой принадлежностью изделий, а главным образом типом производства.

Специфика сборки машин в условиях единичного и мелкосерийного производства характеризуется прежде всего трудностями механизации и автоматизации из-за частой смены номенклатуры изделий, недостаточной специализацией, низким уровнем унификации и стандартизации, малой изученностью процессов, что в конечном итоге приводит к низкой собираемости сборочных единиц — явлению, когда сборка сопровождается весьма значительным объемом пригоночно-доделочных работ, трудоемкость которых нередко превышает трудоемкость собственно сборочных операций.

Как показывает опыт машиностроения, проблема сборки не может быть решена в этих условиях за счет малой механизации, т. е. путем использования ручных механизированных машин. Во многих случаях применение этих средств для выполнения пригоночно-доводочных операций при сборке малоэффективно, поскольку они не обеспечивают получения стабильной точности и низкой шероховатости поверхностей.

Для улучшения процессов сборки изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства необходимы методы анализа собираемости изделий, выявления резервов снижения трудоемкости и повышения качества сборки с учетом размерной отработки конструкций изделий, которые позволили бы на основе изучения комплекса взаимосвязанных факторов применить системный подход к решению проблемы. Правильность такого подхода объясняется тем, что сборка является той завершающей стадией изготовления продукции, на которой, с одной стороны, реализуются расчетные показатели качества сборочных единиц, принятые при проектировании изделий, с другой — проявляются все погрешности, возникающие на предшествующих сборке стадиях производства.

Книга написана на основе многолетних исследований, проведенных авторами в Краматорском научно-исследовательском и проектно-технологическом институте машиностроения (НИИПТмаш), являющимся головной организацией по проблеме сборки в Министерстве тяжелого и транспортного машиностроения, с использованием опыта заводов энергетического и угольного машиностроения, станкостроения, судостроения и нефтехимического машиностроения, а также отдельных разработок научно-исследовательских институтов и вузов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПОВЫШЕНИЕ СОБИРАЕМОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Структура, особенности и технический уровень процесса сборки. Тип производства оказывает решающее влияние на технологию и организацию сборочных работ, на принципы разработки технологических процессов.

В условиях единичного и мелкосерийного производства изготавливают наибольшее количество изделий в различных отраслях машиностроения, например, в тяжелом и транспортном машиностроении — оборудование прокатных станов и металлургического производства, кузнечно-прессовое, шахтное оборудование и экскаваторы; в энергетическом машиностроении — турбины, насосы; в химическом и нефтяном машиностроении — буровые установки, станки-качалки, фонтанную арматуру; в станкостроении — крупные станки и гидропрессы; многие изделия для легкой и пищевой промышленности и др. Несмотря на то, что служебное назначение, требования к точности сборки, степень сложности конструкций, масса и габаритные размеры этих изделий весьма разнообразны, изготовление их имеет общие характерные признаки: большую номенклатуру одновременно собираемых деталей, частую смену объектов производства, малый объем выпуска, недостаточную отработку на технологичность, низкий уровень унификации и стандартизации.

При изготовлении изделий единичного производства сборку производит бригада слесарей-сборщиков, которые последовательно выполняют весь комплекс пригоночно-доводочных, сборочных, регулировочных и контрольно-испытательных операций (в этом случае коэффициент закрепления операций по ГОСТ 3.1108—74 составляет более 40).

В условиях многономенклатурного производства наряду с продукцией разового исполнения часть годового выпуска машин регулярно повторяется небольшими сериями. В этом случае коэффициент закрепления операций на сборке несколько ниже, чем при единичном производстве, и составляет 20—40, что характерно для мелкосерийного производства. Методы разработки и осуществления процессов сборки машин при единичном и мелкосерийном производстве, базирующиеся в основном на

принципе укрупнения операций, не расчлененных на простые переходы, не имеют существенных различий.

На сборке изделий при таком типе производства применяют универсальное оборудование и оснастку, располагаемые чаще всего по однородным группам слесарно-сборочных работ. В основном это механизированный и немеханизированный слесарно-сборочный инструмент, универсально-сборные приспособления (УСП), простые сборочные стенды. Из подъемно-транспортных средств часто применяют мостовые подъемные краны, местные подъемники, тельферы и т. п. При разработке технологической документации на слесарно-сборочные работы чаще всего ограничиваются маршрутными картами.

Цикл сборки изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства относительно длителен, в структуре основных фондов предприятий доля оборудования для сборки в 3 раза меньше, чем для механической обработки, а уровень механизации из-за значительного количества ручных непроизводительных операций самый низкий в машиностроении.

При сборке изделий приходится выполнять различного рода пригоночные и слесарно-доделочные операции, объемы которых достигают 30—50 % трудоемкости собственно сборочных работ. Поэтому очень важно произвести анализ структуры процесса сборки и факторов, определяющих появление излишних (нетехнологических) слесарных операций.

Как показали исследования НИИПТмаша, сложившуюся структуру сборочного процесса изделий единичного и мелкосерийного производства целесообразно представить на основе группирования по видам работ, объединяющим слесарно-сборочные операции, выполнение которых определяется однородностью решаемых технологических задач: 1) слесарно-доделочные работы (зачистка заусенцев, опилование, сверление отверстий, нарезание резьбы и пр.); 2) пригоночно-доводочные работы (пригонка поверхностей, не предусмотренная техническими условиями на сборку или технологическим процессом сборки, а также «нормальные» пригоночно-доводочные операции, предусмотренные ТУ на сборку; 3) слесарно-вспомогательные работы (изготовление прокладок, шайб, пружин, скоб и других деталей, резка и гибка труб); 4) балансировка деталей и сборочных единиц; 5) собственно сборочные работы; 6) обкатка и испытания сборочных единиц и изделий (гидроиспытания, проверка плавности хода, пятна контакта зубьев, работоспособности и т. д.); 7) разборка и демонтаж изделия; 8) консервация и упаковка.

В сборочные работы входят подготовительно-заключительные операции (комплектация, расконсервация, промывка и контроль деталей перед сборкой), координирование и сопряжение деталей, регулирование в процессе сборки, фиксация относительного положения деталей, контроль точности сборки. В эту группу

входят также операции по промежуточной сборке деталей для их совместной обработки, определения размера детали-компенсатора.

Под обкаткой изделия понимают приработку пар трения, выявление дефектов в процессе работы механизмов изделия в соответствующих режимах, выполняемых на сборке с целью обеспечения технических требований. Испытания, которые часто могут совмещаться с обкаткой, предназначены для проверки соблюдения этих требований.

Пригоночные и доделочные операции выделены в самостоятельные группы. Первые возникают главным образом из-за погрешностей размеров, формы и расположения поверхностей деталей, из-за неувязки допусков в многосвязных сборочных цепях. Основным направлением повышения точности сборки и сокращения пригоночных работ является тщательная размерная отработка узлов и машин на основе расчета сборочных размерных цепей, а также повышение точности обработки деталей на металлорежущих станках.

Возникновение слесарно-доделочных работ связано в основном с недостаточной оснащенностью процессов механической обработки деталей; для снижения трудоемкости этого вида работ необходимо изыскивать пути выполнения операций на металлорежущих станках, например за счет расширения их технологических возможностей, применения УСП и т. д. Как слесарно-доделочные, так и слесарно-вспомогательные работы, необходимость выполнения которых на сборке обусловлена нерациональной организацией производства, по своей сущности не являются сборочными, а лишь сопутствуют процессу образования сборочных единиц на сборке.

Таким образом, благодаря приведенной дифференциации удастся выявить объемы операций, снижающих собираемость и качество процесса сборки. В качестве примера в табл. 1 приведена структура сборки крупного прокатного оборудования (тру-

доемкость каждого вида работ дана в процентах от общей трудоемкости сборки).

Трудозатраты на сборочные работы в условиях единичного и мелкосерийного производства занимают лишь некоторую часть (для рассматриваемых машин от 26 до 49 %) общих трудозатрат при сборке изделий. При этом весьма значительна доля слесарно-доделочных работ, велики затраты на пригоночно-доводочные работы (17,2—34,2 %).

Из-за сложности взаимосвязи конструктивных, технологических и организационно-технических факторов, определяющих структуру технологических процессов сборки, затрудняется их совершенствование, хотя трудоемкость сборки машин занимает второе место после трудозатрат на обработку резанием и намного превышает трудоемкость литейных, сварочных, кузнечно-прессовых и других работ; причем анализ динамики изменения трудозатрат при изготовлении изделий показывает, что доля трудоемкости механической обработки имеет тенденцию к снижению, а сборки — наоборот, к росту. Доля трудоемкости сборки прокатного оборудования по сравнению с механической обработкой возросла в 1,5 раза [22]. Это свидетельствует об относительно низких темпах совершенствования сборочных процессов, которые определяются недостаточными масштабами проектирования и внедрения прогрессивных технологических процессов, механизации, методов размерной отработки конструкции сборочных единиц и рациональной организации сборки изделий.

В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы анализа и оценки технического уровня сборочного производства, позволяющие не только получить объективную характеристику состояния сборки изделий, но также на основе количественной оценки значимости основных факторов наметить комплекс мероприятий по совершенствованию процессов сборки. Применение методов анализа и оценки технического уровня, таким образом, позволяет на основе системного подхода изучать резервы сборочного производства.

Под техническим уровнем сборочного производства понимают его состояние, характеризующееся уровнем технологического процесса, организации производства и технической подготовки. Параметры, определяющие технический уровень сборочного производства, и система показателей, посредством которых производится его оценка, показаны на рис. 1.

В условиях единичного и мелкосерийного производства наиболее важным является определение уровня технологического процесса сборки, т. е. его состояния, характеризующегося структурой, степенью механизации и использования прогрессивной техники, а также экономичностью при обеспечении технических требований на сборку изделия.

Структура технологического процесса сборки и ее показа-

1. Структура сборки крупного прокатного оборудования, %

Виды работ	Оборудование			
	Рабочие клетки кварто	Рольганги	Становые ножницы	Редукторы
Слесарно-доделочные	22,9	19,0	26,5	13,0
Пригоночно-доводочные	34,2	17,2	19,4	17,3
Слесарно-вспомогательные	4,0	3,3	6,8	17,6
Балансировка	—	3,3	2,1	3,7
Собственно сборочные	26,5	49,4	31,8	29,6
Обкатка и испытания	3,8	3,3	4,0	11,3
Разборка и демонтаж	5,6	2,4	9,4	4,0
Консервация и упаковка	3,0	2,1	—	3,5

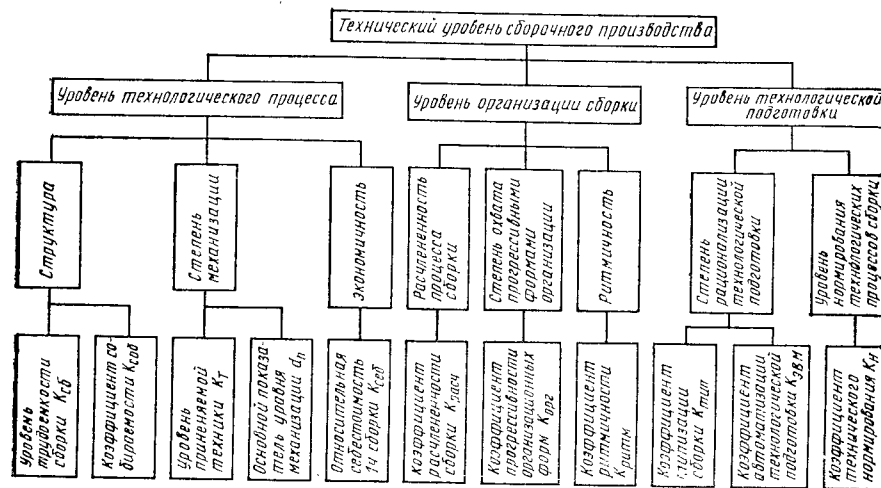


Рис. 1. Факторы, определяющие технический уровень сборочного производства

тели характеризуют соотношение трудоемкостей различных групп слесарно-сборочных работ, позволяя установить наиболее трудоемкие работы и долю пригоночных, слесарно-доделочных операций и других, которые снижают собираемость и качество сборочных единиц, а также увеличивают цикл сборки. Для сравнительной оценки и анализа структуры процессов сборки целесообразно определять следующие показатели.

Структурный уровень сборки

$$k_{сб} = \frac{T_{сб}}{T},$$

где $T_{сб}$ — трудоемкость сборки изделия; T — общая трудоемкость изготовления изделия; коэффициент $k_{сб}$ выражает долю трудоемкости слесарно-сборочных операций в общем объеме трудозатрат на производство изделий и должен иметь тенденцию к снижению.

Уровень собираемости изделия

$$k_{сб} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{с.с_i}}{\sum_{i=1}^m (T_{с.с_i} + T_{п_i} + T_{д_i} + T_{в_i})},$$

где $T_{с.с_i}$ — трудоемкость собственно сборочных операций i -й сборочной единицы; $T_{п_i}$, $T_{д_i}$, $T_{в_i}$ — трудоемкость соответственно пригоночных, слесарно-доделочных и вспомогательных опе-

10

раций i -й сборочной единицы; m — число сборочных единиц, входящих в изделие.

Коэффициент $k_{сб}$ характеризует уровень конструктивных, технологических и организационно-производственных решений, направленных на обеспечение требуемой точности сборки изделия при минимальных объемах слесарно-пригоночных и доделочных работ с наименьшими затратами труда слесаря-сборщика. Чем ближе к единице коэффициент $k_{сб}$, тем лучше структура и выше уровень технологического процесса сборки.

Поскольку при разработке технологических процессов сборки изделий в единичном и мелкосерийном производстве нормируются часто не отдельные операции или переходы, а весь объем работ, связанных с проведением какой-либо сборки, необходимо разбить нормируемый объем (заодно и трудоемкость) на группы операций (переходов) в соответствии с приведенной выше дифференциацией.

Степень механизации технологического процесса сборки и ее показатели характеризуют уровень применяемой при сборке техники и способность обеспечить технические требования к сборке с наименьшими трудовыми затратами.

Основной показатель состояния механизации слесарно-сборочных операций

$$d_{п} = \frac{\Sigma T^M}{\Sigma T^Ш},$$

где ΣT^M — сумма всего машинного времени, включая время работы ручным механизированным инструментом; $\Sigma T^Ш$ — сумма всех штучных времен.

По результатам анализа состояния механизации определяют информационную модель механизации сборочных процессов, для чего ГОСТ 14.309—74 предусматривает определение вида (единичная или комплексная), степени применимости (десять ступеней, начиная от единичных операций) и категории механизации (восемь категорий — от нулевой до полной в зависимости от величины $d_{п}$). Например, информационная модель единичной механизации технологического процесса сборки с показателем $d_{п}=0,18$ будет 2М1, где 2 — ступень комплексности на уровне законченного технологического процесса; М — наличие единичной механизации; 1 — низшая категория механизации.

Степень использования прогрессивной техники характеризуется уровнем k_m применяемого оборудования, оснастки и инструмента [38]

$$k_m = \sum_{i=1}^{i=n} k_{пр_i} k_{з_i} \rho_i,$$

где n — число групп оборудования (рабочих мест) на участке; $k_{пр_i}$ — коэффициент прогрессивности i -й группы оборудования;

k_{zi} — коэффициент загрузки i -й группы оборудования; ρ_i — коэффициент, учитывающий удельный вес i -й группы оборудования в выпуске продукции участка в целом.

Значения коэффициентов $k_{прi}$ выбирают в соответствии с разработанной в каждой отрасли классификацией сборочного оборудования по степени его совершенства, которая должна учитывать прогрессивность технологического метода, степень механизации и рост производительности труда, прогрессивность применяемой оснастки и инструмента. В соответствии с этим данный коэффициент в единичном и мелкосерийном производстве всегда меньше 1 ($k_{прi} = 1$ для сборочных автоматов), принимает различные значения с учетом отраслевых особенностей. Например, по рекомендации ВПТИТяжмаша в тяжелом машиностроении для ручного механизированного инструмента $k_{прi} = 0,1$, для простейших станков с подачей деталей вручную или универсальными общецеховыми подъемно-транспортными средствами $k_{прi} = 0,15$, для механизированных станков $k_{прi} = 0,2$, для станков и прессов $k_{прi} = 0,25$ и т. д.

$$\text{Коэффициент загрузки } k_{zi} = \frac{T_{\Phi i}}{\Phi_q N},$$

где $T_{\Phi i}$ — годовая фактическая трудоемкость для данной группы основного технологического оборудования или рабочего места; Φ_q — действительный годовой фонд работы единицы оборудования или рабочего места; N — количество единиц оборудования или рабочих мест.

Коэффициент, учитывающий удельный вес i -й группы оборудования (рабочих мест) в общем числе оборудования,

$$\rho_i = \frac{N_i}{N},$$

где N_i и N — число единиц i -й группы оборудования и общее число единиц оборудования (рабочих мест) рассматриваемого подразделения, участвующего в выпуске продукции.

Комплексным показателем качества сборочного процесса, который характеризует его экономичность, является относительная технологическая себестоимость 1 ч сборки $C_{тi}$, которую определяют по формуле $k_{сбi} = \frac{C_{сбi}}{C_1}$, где C_1 , $C_{сбi}$ — технологическая себестоимость 1 ч соответственно изготовления и сборки изделия; $C_1 = \frac{C}{T}$, где C — себестоимость изготовления изделия;

$$C_{сбi} = C_{zi} + C_{обi} + C_{осi} + C_{прi} + C_{брi} + C_{мi} + C_{нi},$$

где C_{zi} — общая среднечасовая заработная плата основных и вспомогательных рабочих (с начислениями); $C_{сбi}$ — затраты

по эксплуатации оборудования, отнесенные к 1 ч работы; $C_{осi}$ — затраты по эксплуатации оснастки, в том числе специальной, на сборке, отнесенные к 1 ч работы; $C_{прi}$ — затраты по эксплуатации производственного здания, отнесенные к 1 ч работы; $C_{брi}$ — среднечасовая стоимость брака по вине сборки; $C_{мi}$ — затраты на материалы при сборке; $C_{нi}$ — прочие (накладные) цеховые расходы, отнесенные к 1 ч работы.

Комплексный показатель уровня технологического процесса сборки

$$Y_{\text{тех}} = \xi_{сб}(1 - k_{сб}) + \xi_{сбi}k_{сбi} + \xi_{мex}d_{\text{п}} + \xi_{тi}k_{тi} + \xi_{сбi}(1 - k_{сбi}), \quad (1)$$

где $\xi_{сб}$, $\xi_{сбi}$, $\xi_{мex}$, $\xi_{тi}$, $\xi_{сбi}$ — коэффициенты значимости соответствующих частных показателей уровня технологического процесса сборки.

Уровень организации процессов сборки может быть определен комплексом факторов (например, 15 показателей [63]), наиболее важными из которых следует считать расчлененность сборочного процесса, степень охвата прогрессивными формами организации и ритмичность сборки изделий. Коэффициент расчлененности

$$k_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} T_{узi}}{T_{сб}},$$

где $T_{узi}$ — трудоемкость узловой сборки i -й сборочной единицы; m — общее число сборочных единиц.

Степень охвата прогрессивными формами организации сборочного производства

$$k_{\text{пр.орг}} = \frac{\sum_{i=1}^c T_{\text{пр.орг}i}}{\sum_{i=1}^m T_{сбi}},$$

где c — число сборочных единиц, собираемых с использованием прогрессивных форм организации сборочного производства; $T_{\text{пр.орг}i}$ — трудоемкость сборки i -й сборочной единицы с использованием прогрессивных форм организации производства.

Основные направления применения прогрессивных форм организации сборочного производства, и прежде всего поточной, на базе создания групповых технологических процессов сборки приведены ниже.

Коэффициент ритмичности определяется, как правило, отношением числа $\sum_{i=1}^n A_i$ фактически собранных сборочных единиц

по декадам (в пределах не выше планового задания) к плановому числу $\sum_i^n B_i$ сборочных единиц, подлежащих изготовлению за этот же период:

$$k_{\text{ритм}} = \frac{\sum_i^n A_i}{\sum_i^n B_i},$$

где n — количество декад за период оценки (год, полугодие, квартал).

Для оценки ритмичности изготовления изделий с большим циклом сборки вместо планового и фактического числа сборочных единиц могут быть взяты соответственно плановая и фактическая трудоемкости сборки по декадам.

Комплексный показатель уровня организации сборочного производства

$$Y_{\text{орг}} = \xi_{\text{расч}} k_{\text{расч}} + \xi_{\text{пр.орг}} k_{\text{пр.орг}} + \xi_{\text{ритм}} k_{\text{ритм}}, \quad (2)$$

где $\xi_{\text{расч}}$, $\xi_{\text{пр.орг}}$, $\xi_{\text{ритм}}$ — коэффициенты значимости соответствующих частных показателей уровня организации сборочного производства.

Технический уровень сборочного производства в значительной мере определяется также уровнем технологической подготовки производства, который характеризуется степенью рационализации технологической подготовки сборочных процессов и уровнем нормирования.

Рационализация подготовки технологических процессов сборки направлена прежде всего на ускорение их разработки и повышение их качества, что осуществляется главным образом за счет типизации и автоматизации разработки с применением ЭВМ. При этом создаются предпосылки для механизации слесарно-сборочных операций за счет многократно применяемой оснастки и механизированных средств.

Уровень типизации технологических процессов $k_{\text{тип}} = \frac{П_{\text{тип}}}{П}$,

а уровень автоматизированной их разработки $k_{\text{ЭВМ}} = \frac{П_{\text{ЭВМ}}}{П}$, где

$П_{\text{тип}}$ и $П_{\text{ЭВМ}}$ — соответственно число технологических процессов сборки узлов и изделий, выдаваемых в производство на основе типовых технологических процессов и автоматизированной системы разработки технологических процессов сборки; $П$ — годовое число разрабатываемых технологических процессов сборки узлов и изделий.

Уровень нормирования труда сборщиков $k_{\text{н}} = \frac{T_{\text{тн}}}{T_{\text{сб}}}$,

где $T_{\text{тн}}$ — трудоемкость сборки изделий за год по технически обоснованным нормам.

Комплексный показатель уровня технологической подготовки сборочного производства

$$Y_{\text{подг}} = \xi_{\text{тип}} k_{\text{тип}} + \xi_{\text{ЭВМ}} k_{\text{ЭВМ}} + \xi_{\text{н}} k_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $\xi_{\text{тип}}$, $\xi_{\text{ЭВМ}}$, $\xi_{\text{н}}$ — коэффициенты значимости соответствующих частных показателей уровня технологической подготовки.

Для всего рассмотренного комплекса показателей следует различать три вида значений: фактические (полученные в результате расчета в реальных производственных условиях), проектные (по данным проектов реконструкций действующего предприятия) и нормативные.

Наибольшую трудность представляет определение нормативных показателей, которое производится двумя методами: расчетно-аналитическим с учетом технико-экономической и организационной целесообразности и опытно-статистическим — на основе сопоставления показателей технического уровня сборочного производства предприятий с родственной продукцией и программой выпуска.

Комплекс рассмотренных основных факторов и показателей в конечном счете представляет собой модель технического уровня сборочного производства, которая может в определенной мере видоизменяться с учетом специфических особенностей отрасли. При этом могут приниматься во внимание также многие другие факторы и показатели [38, 63], которые, являясь вспомогательными, позволяют в то же время проанализировать отдельные свойства сборочного процесса.

При рассмотрении уровня технологического процесса важно, например, установить, кроме перечисленных выше показателей, уровень непригоночной $k_{\text{бп}}$ и бездефектной $k_{\text{бд}}$ сборки, определяемый соответственно [22]

$$k_{\text{бп}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{п}i}}{\sum_{i=1}^n (T_{\text{сб}i} + T_{\text{п}i})}; \quad k_{\text{бд}} = 1 - \frac{T_{\text{бр}}}{T_{\text{сб}}},$$

где $T_{\text{бр}}$ — трудоемкость исправления дефектов, связанных с процессом сборки.

Коэффициент $k_{\text{бп}}$ характеризует долю пригоночных операций при непосредственном сопряжении деталей в процессе сборки, т. е. операций, оказывающих наибольшее влияние на достижение требуемой точности изделия. Чем ближе к единице коэффициенты $k_{\text{бп}}$ и $k_{\text{бд}}$, тем лучше структура и выше качество технологического процесса сборки.

Для общей сравнительной характеристики состояния процессов сборки в условиях единичного и мелкосерийного производ-

ства применяют интегрированный обобщающий показатель $U_{сб}$ технического уровня сборочного производства, определяемый суммированием значений составляющих его частных показателей с учетом их значимости, т. е. степени влияния на состояние сборочного производства. Показатель

$$U_{сб} = \xi_{тех} U_{тех} + \xi_{орг} U_{орг} + \xi_{подг} U_{подг}, \quad (4)$$

где $\xi_{тех}$, $\xi_{орг}$, $\xi_{подг}$ — соответственно коэффициенты значимости комплексных показателей уровня технологии, организации и технологической подготовки производства.

Коэффициенты значимости комплексных и частных показателей технического уровня сборочного производства, имеющиеся в формулах (1) — (4), устанавливают методом экспертных оценок, а затем уточняют по мере накопления опытно-статистического материала.

Структуру технологических процессов сборки и показатели технического уровня сборочного производства или отдельных его составляющих заносят в специальные карты. В табл. 2 приведена карта технического уровня сборочного производства при изготовлении крупных редукторов одного из заводов тяжелого машиностроения.

Моделирование технического уровня сборочного производства является инструментом его анализа и совершенствования; поскольку позволяет вскрыть резервы повышения эффективности технологических процессов сборки на основе определения количественных показателей и изучения их составляющих. Поэтому число показателей должно быть достаточным для объективной, всесторонней характеристики сборочного процесса. Однако излишняя детализация затрудняет сравнительную оценку технико-экономического уровня сборочного производства.

Сопоставление значений фактических, проектных и нормативных показателей технического уровня и его частных составляющих позволяет установить причины снижения определенной группы показателей и разработать мероприятия, направленные на повышение качества и снижение трудоемкости сборки изделий, которые должны способствовать прежде всего совершенствованию структуры сборочного процесса, т. е. снижению доли слесарно-доделочных, пригоночных и вспомогательных слесарных операций с учетом комплекса определяющих его конструктивно-технологических и организационно-технических факторов.

Основным направлением повышения качества сборки и сокращения трудоемкости пригоночных работ является тщательная размерная отработка собираемости машин на основе расчета сборочных размерных цепей и выбора рациональных методов компенсации погрешностей, а также повышение точности обработки на металлорежущих станках. Для снижения трудоемкости слесарно-доделочных работ целесообразно применение рациональных методов обработки и средств оснащения, обеспе-

2. Карта технического уровня сборочного производства

Диаграмма структуры	Изделие	Основные параметры	Завод	Цех, участок	Дата	Номер карты	Число операций, шт.	Средняя трудоемкость сборки, нормо-ч	Годовой объем выпуска изделий, шт.	
	Редукторы цилиндрические общего назначения	Общее межосевое расстояние 900—1200 мм. Количество ступеней 2—3	—	Редукторный	—	1	36	75	85	
	Показатели уровня технологического процесса сборки		Показатели уровня организации сборочного производства				Показатели уровня технологической подготовки			Обобщенный показатель технического уровня сборочного производства
	Структура	Степень механизации	Экономичность	Расчлененность	Степень охвата прогрессивными формами	Ритмичность	Степень рационализации	Уровень нормирования		
		$k_{сб}$	$k_{сбб}$	$d_{п}$	$k_{расч}$	$k_{ритм}$	$k_{тип}$	$k_{н}$		
		Нормативные показатели								
0,52		0,46	0,12	0,18	0,38	0,60	0,55	0,85	0,3	
Проспективные показатели										
	0,40	0,68	0,20	0,26	0,30	0,65	0,70	0,98	0,6	—
	0,35	0,75	0,25	0,50	0,28	0,65	0,75	1,00	0,6	—

чивающих максимальное выполнение этих работ при обработке деталей резанием, а также механизация трудоемких операций на сборке за счет использования шлифовальных, сверлильных, резьбонарезных и других механизированных инструментов и средств оснащения.

Основным направлением снижения трудоемкости и ликвидации тяжелого ручного труда при выполнении собственно сборочных, испытательных, монтажных и консервационных работ является их механизация. Одним из путей снижения трудоемкости и повышения технического уровня и механизации сборки изделий является совершенствование организационных форм сборки на основе создания специализированных участков и линий по сборке унифицированных сборочных единиц и изделий, имеющих общие конструктивно-технологические признаки.

Что касается совершенствования технологической подготовки, в определенной мере влияющей на технический уровень сборочного производства, то основными задачами в условиях единичного и мелкосерийного производства являются улучшение нормирования, типизация технологических процессов сборки и автоматизация их проектирования с использованием ЭВМ.

Характеристика собираемости изделий единичного и мелкосерийного производства. Под собираемостью изделия понимают совокупность свойств конструкции, технологического процесса изготовления и организации сборочного производства, обеспечивающих достижение заданных технических требований к собранному изделию при наименьших материальных и трудовых затратах.

Изучение собираемости изделия очень важно, поскольку позволяет проанализировать и оценить процесс сборки как завершающую стадию производства, на которой реализуются точностные показатели, заложенные при проектировании, и проявляются все погрешности, допущенные на предшествующих стадиях изготовления продукции.

Анализ технологических процессов сборки с точки зрения собираемости изделий позволяет определить комплекс конструктивных (повышение технологичности сборочных единиц), технологических (правильное построение сборочного процесса и выбор наиболее рациональных приемов в слесарно-сборочных операциях) и организационно-технических (рациональная организация труда на сборке) мероприятий, позволяющих обеспечить сборку изделия с минимальными затратами. Это особенно важно при единичном и мелкосерийном типе производства изделий, в условиях которого наиболее ярко проявляется взаимосвязь рассматриваемых факторов. Из-за недостаточной собираемости возникают различного рода пригоночные, слесарно-доделочные и вспомогательные операции, объем которых в общих трудозатратах на сборку изделий весьма значителен.

В условиях единичного и мелкосерийного производства невозможно полностью исключить из сборочного процесса пригоночно-доделочные операции. Однако большая часть их относится к нетехнологическим операциям, т. е. к непредусмотренным технологическим процессом сборки. Такие операции целесообразнее предотвращать на предшествующих стадиях производства, чем выполнять (даже механизированным способом) непосредственно на сборке.

Возможность исключения этих работ и обеспечение оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при изготовлении (равно как и при технологической подготовке сборочного производства, эксплуатации и ремонте) изделия определяются технологичностью его конструкции.

Таким образом, термин «технологичность», являющийся качественным показателем конструкции изделия, подразумевает принципиальную возможность, т. е. создание условий достижения минимальных затрат при сборке, а понятие «собираемость», относящееся к характеристике самого производственного процесса, определяет уровень фактического их достижения. Общие правила отработки конструкции изделия на технологичность регламентируются ГОСТ 14.201—73, а правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц — ГОСТ 14.203—73.

Технологичность сборочных единиц означает обеспечение требований к ее составу, к конструкции соединений составных частей, а также к точности и методу сборки. Сборочная единица должна расчленяться на составные части с учетом принципа агрегатирования, при этом необходимо обеспечение возможности ее компоновки из стандартных и унифицированных частей.

Уровень унификации и стандартизации изделий в тяжелом машиностроении, например, оценивается рядом основных и вспомогательных показателей. К основным показателям относится коэффициент $k_{пр.сч}$ применяемости стандартных и унифицированных составных частей изделия:

$$k_{пр.сч} = \frac{\Sigma_c + \Sigma_y}{\Sigma_{об}},$$

где Σ_c — число наименований типоразмеров стандартных составных частей изделия; Σ_y — число унифицированных, т. е. введенных к применению по отрасли, составных частей изделия; $\Sigma_{об}$ — общее число наименований типоразмеров составных частей изделий.

К этим же показателям относится коэффициент $k_{пр}$ применяемости составных частей изделий:

$$k_{пр} = \frac{\Sigma_{об} - \Sigma_o}{\Sigma_{об}},$$

где Σ_0 — число наименований типоразмеров оригинальных составных частей изделия (деталей и сборочных единиц, спроектированных только для данной машины).

Указанные коэффициенты включают в карты технического уровня машин и в материалы по государственной аттестации на Знак качества. Анализ этих коэффициентов по отдельным изделиям тяжелого машиностроения показывает, что уровень их стандартизации и унификации довольно неоднороден. Общий уровень унификации изделий в тяжелом машиностроении составляет в среднем 40—50 %.

Повышение уровня унификации, широкое использование в конструкциях машин уже освоенных производством деталей и сборочных единиц позволяет повысить собираемость изделий, применить более совершенные методы технологии и организации сборочного производства. При этом значительно сокращаются сроки и улучшается качество технической подготовки производства, снижаются трудовые затраты на изготовление машин.

В условиях единичного и мелкосерийного производства особенно важно, чтобы места соединений составных частей были доступны для средств механизации слесарно-сборочных операций и контроля качества соединений. При сборке крупных изделий необходимо, чтобы сборочные единицы и ее составные части, имеющие массу более 20 кг, были снабжены конструктивными элементами для удобного захвата грузоподъемными средствами. Компоновка сборочной единицы должна обеспечивать общую сборку без промежуточной разборки.

Как показывает практика сборки изделий единичного и мелкосерийного производства, наиболее часто в конструкциях сборочных единиц не обеспечивается третья группа требований технологичности — к точности и методу сборки, т. е. точность расположения составных частей не всегда обоснована и взаимосвязана с точностью изготовления деталей, а метод сборки не подтвержден расчетом сборочных размерных цепей. Недостаточная отработка конструкций изделий на технологичность приводит к возникновению различного рода слесарно-пригоночных работ.

Основными факторами, определяющими объем подобных работ на сборке, являются отсутствие конкретных технических требований на сборку отдельных машин и узлов (зачастую технические условия на сборку устанавливаются конструктором без указания численных значений точностных или эксплуатационных параметров); ограниченное применение в конструкциях машин компенсаторов (особенно регулируемых); жесткие допуски на обработку отдельных деталей, которые не могут быть обеспечены в производственных условиях; низкая точность обработки сопрягаемых поверхностей крупных деталей (особенно формы и относительного расположения); недостаточная отра-

ботка технологичности конструкций деталей с точки зрения возможностей обработки всех поверхностей на металлорежущих станках.

Размерный анализ взаимосвязей между сопрягаемыми поверхностями деталей при сборке и оценка технологических возможностей их достижения в производственных условиях обеспечивают повышение собираемости крупных машин. Оптимальная компоновка многозвенных размерных цепей машин с дифференцированной точностью изготовления деталей, имеющих различную технологичность, позволяет достичь заданное качество сборки при минимальных затратах труда.

В настоящее время имеется четыре стандарта по методам расчета размерных цепей: ГОСТ 16319—80, ГОСТ 16320—80, ГОСТ 19415—74, ГОСТ 19416—74.

Размерная отработка машин и узлов должна включать решение двух задач: проектный расчет размерных цепей, выполняемый в процессе конструирования машин, когда по принятому исходному (замыкающему) звену определяются значения составляющих звеньев (прямая задача); поверочно-технологический расчет размерных цепей, осуществляемый в технологическом бюро, когда по принятым составляющим звеньям определяется величина замыкающего звена, сравниваемая затем с допускаемой.

Размерный анализ сборочных единиц с поверочно-технологическим расчетом сборочных размерных цепей производят параллельно с разработкой технологического процесса сборки с целью окончательной проверки возможности достижения заданной точности замыкающих звеньев размерной цепи в соответствии с разрабатываемым технологическим процессом. Размерная отработка конструкций изделий и сборочных единиц предусматривает следующие этапы: анализ соответствия технических требований служебному назначению изделия и определение замыкающих звеньев размерных цепей; выявление размерных цепей (составляющих звеньев); расчет размерных цепей. Первые два этапа называют размерным анализом собираемости изделия или сборочной единицы.

Размерный анализ и расчет сборочных размерных цепей изделий. При размерном анализе конструкции изделия в процессе его изготовления прежде всего проверяют соответствие технических требований в чертежах служебному назначению, под которым понимают максимально уточненную и четко сформулированную задачу, для решения которой предназначено изделие [29].

До настоящего времени вопросы правильного формулирования служебного назначения во взаимосвязи с требованиями к качеству изделия, с требованиями к точности изготовления деталей и сборочных единиц отработаны недостаточно. Это особенно характерно для изделий единичного и мелкосерийного

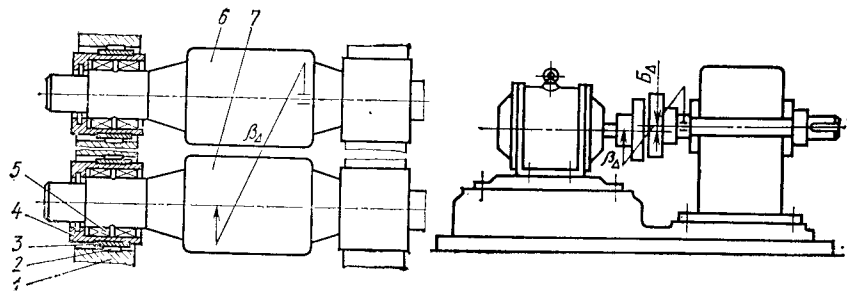


Рис. 2. Узел валков рабочей клетки прокатного стана

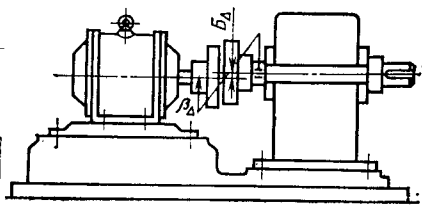


Рис. 3. Соединение валов муфтой в приводах

производства из-за малой их повторяемости и размерной неотработанности конструкций.

Вследствие этого часто технические требования на сборку задают в неявной форме, без указания числовых величин допускаемых отклонений. В таких случаях технологом-сборщикам приходится уточнять технические требования на основе выявления исполнительных поверхностей сборочной единицы и вида связей, посредством которых осуществляются заданные функции. Методика анализа соответствия технических требований и норм точности служебному назначению машины наиболее обстоятельно изложена в работах проф. И. М. Колесова [29].

На основе проведенного анализа устанавливают замыкающие звенья размерных цепей, т. е. исходные технические требования, которым должна удовлетворять машина и составляющие ее сборочные единицы после сборки. Например, исполнительными поверхностями рабочей клетки прокатного стана (рис. 2) являются цилиндрические поверхности бочек валков 6 и 7, которые путем обработки давлением формируют заготовку проката. Поэтому от точности относительного расположения валков зависит точность получаемой прокатной заготовки, которая, например, для листового проката регламентируется ГОСТ 19904—74. Исходя из требований к допустимым значениям разнотолщинности листа по этому стандарту, могут быть определены требования к перекосу осей валков в вертикальной и горизонтальной плоскостях, для чего на основе теории обработки давлением может быть рассчитана зависимость величины поперечной разнотолщинности от перекоса осей валков. Принятая допустимая величина перекоса осей валков является исходным (замыкающим) звеном β_{Δ} в пространственной цепи, определяемой соответствующими погрешностями изготовления и сборки направляющих планок 2 и 3, подушек 4, станины 1, подшипников 5 правых и левых опор в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Часто привод (например, волочильного стана, транспортера) состоит из электродвигателя и редуктора, смонтированных на общей плите и соединенных муфтой. Согласно условиям эксплуатации такого соединения необходимо обеспечить совпадение осей вращения валов двигателя и редуктора, что определяется четырьмя размерными цепями, в которых замыкающими звеньями являются смещения и перекосы осей валов в двух координатных плоскостях. Допустимые значения их зависят от конструкции муфт. Например, на рис. 3 показаны указанные параметры β_{Δ} и β_{Δ} в вертикальной плоскости. Упругие втулочно-пальцевые муфты допускают смещение осей валов до $\frac{1}{500} D$ (где D — наружный диаметр корпуса муфты) и перекося осей до 1° .

Для составления размерной цепи определяют размеры или параметры расположения осей или поверхностей (отклонения от параллельности, перпендикулярности), погрешности формы, непосредственно участвующие в решении поставленной задачи. Для этого, начиная от осей или поверхностей деталей, образующих исходное звено, последовательно находят точностные параметры, связывающие эти оси или поверхности с основными и вспомогательными базами соединяемых деталей вплоть до образования замкнутого контура.

В машинах наиболее распространенными являются узлы с зубчатыми передачами. Размерная отработка их и назначение рациональных допусков затруднительны, что приводит к большим объемам пригоночных работ на сборке. Особенно это относится к узлам с пространственными зубчатыми передачами, размерные цепи которых, как правило, являются многозвеньевыми.

В целях размерного анализа точности относительного положения поверхностей деталей и узлов рассмотрим центральную часть рольганга с групповым приводом (рис. 4). При сборке рольгангов необходимо, в частности, выдерживать технические требования на сборку конических зубчатых пар. Точность собранной конической зубчатой передачи характеризуется смещением вершины делительного конуса шестерни с оси вращения колеса, смещением вершины делительного конуса колеса с оси вращения шестерни, а также неприлеганием зубьев вследствие отклонения межосевого угла в передаче и непересечения осей вращения сопряженных зубчатых колес. Два первых технических условия при сборке рольгангов обеспечиваются осевым перемещением конических колес и не вызывают затруднений.

Рассмотрим основные виды погрешностей, вызывающих неприлегание зубьев при сборке рольгангов и определяющих пятно контакта в передаче. Размерная цепь ϕ определяет неприлегание зубьев сопряженных конических шестерен (замыкающее

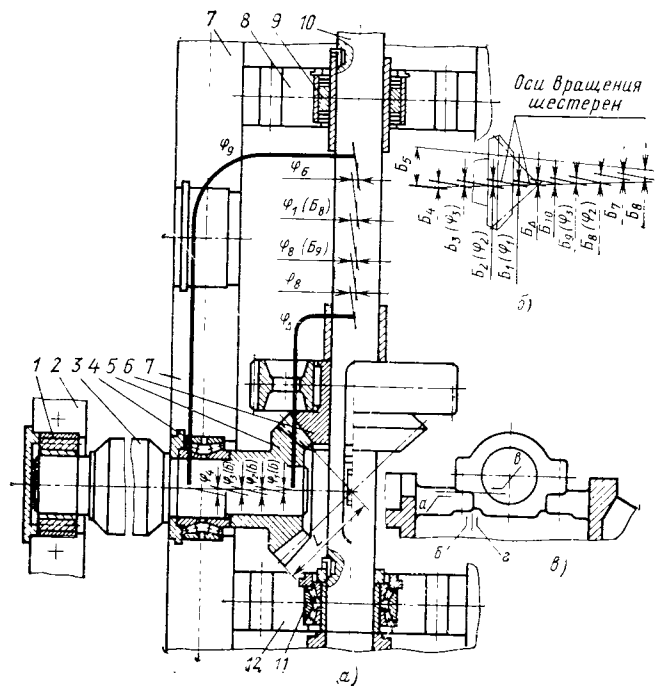


Рис. 4. Размерная цепь, определяющая неперилегание зубьев конических шестерен роликана (а) и в), и схема установки корпусов подшипников в опоры приводной рамы (б)

звено ϕ_4) из-за отклонения межосевого угла. Выявим составляющие звенья этой размерной цепи.

Ось вращения ролика 3 проходит через геометрические центры дорожек качения наружных колец подшипников. Дорожки качения наружной поверхности колец подшипников неконцентричны (имеется радиальное биение, величина которого в зависимости от диаметра наружного кольца регламентируется ГОСТ 520—71). Эта неконцентричность вносит погрешность в расположение оси вращения шестерни 5. Следовательно, первым и вторым составляющими звеньями ϕ_1 и ϕ_2 размерной цепи являются радиальные биения подшипников 4 и 1 ролика.

На положение действительной оси вращения конической шестерни ролика влияет также биение посадочных шеек ролика под подшипники. Чем больше величина этого биения, тем больше отклоняется действительная ось вращения конической шестерни от теоретической, что в свою очередь вносит погрешность в величину межосевого угла передачи. Таким образом, третьим составляющим звеном ϕ_3 рассматриваемой размерной цепи является биение посадочных шеек ролика. Четвертым составляющим звеном ϕ_4 размерной цепи является смещение в го-

ризонтальной плоскости оси отверстия под подшипник в приводной раме 7 относительно оси отверстия в не приводной раме 2 (погрешность сборки узла рамы).

Точность межосевого угла сопряженных шестерен определяется также точностью угла между осью отверстия под подшипник в приводной раме и плоскостями б и г приливов этой рамы (см. рис. 4, в). Следовательно, пятым составляющим звеном ϕ_5 рассматриваемой размерной цепи является отклонение от перпендикулярности оси отверстия относительно плоскостей приливов приводной рамы.

Шестым составляющим звеном ϕ_6 размерной цепи является смещение в горизонтальной плоскости оси отверстия в корпусе подшипника 8 относительно оси отверстия в корпусе подшипника 12. Действительно, чем больше это смещение, тем больше отклоняется межосевой угол сопряженных шестерен от номинального (в данном случае от 90°), а значит, уменьшается пятно контакта в зацеплении.

Аналогично влиянию погрешностей подшипников 1 и 4 ролика на положение оси вращения конической шестерни 6 биение наружных поверхностей подшипников 9 и 11 в конечном счете уменьшает контакт в зацеплении. Таким образом, седьмым ϕ_7 и восьмым ϕ_8 составляющими звеньями размерной цепи являются величины возможных биений наружных поверхностей подшипников 9 и 11.

После фиксации конической шестерни на трансмиссионном валу 10 возможен перекося оси шестерни относительно оси трансмиссионного вала. Следовательно, девятым составляющим звеном ϕ_9 размерной цепи является перекося оси шестерни относительно оси трансмиссионного вала вследствие погрешностей сборки шестерен на трансмиссионном валу. Это звено, последнее составляющее звено размерной цепи, примыкает к замыкающему, образуя замкнутый размерный контур. Таким образом, рассмотренная размерная цепь является плоскостной угловой размерной цепью с десятью составляющими звеньями.

Весьма ощутимо на пятне контакта сопряженных колес сказывается влияние погрешностей механической обработки и сборки конических колес, которые определяют отклонение межосевого расстояния, в результате которого образуется «зазор неперилегания» зубьев.

Рассмотрим размерную цепь Б, определяющую эту погрешность (рис. 4, б). Последовательно рассматривая конструкцию узла, начиная от замыкающего звена B_4 , находим, что составляющими звеньями размерной цепи являются: $B_1(\phi_1)$, $B_2(\phi_2)$, $B_8(\phi_7)$, $B_9(\phi_8)$ — соответственно смещения осей дорожек качения и наружной поверхности колец подшипников 1, 4, 9, 11; $B_3(\phi_3)$ — биение посадочных шеек ролика 3; B_4 — смещение в вертикальной плоскости оси отверстия не приводной рамы 2 относительно оси отверстия в приводной раме 7 (погрешности

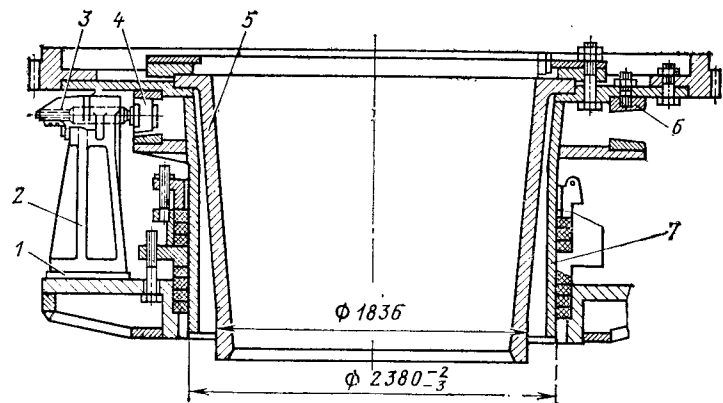


Рис. 5. Распределитель шихты засыпного устройства доменной печи

сборки узла рам); B_5 — погрешность размера оси отверстия под подшипник до плоскости b приливов приводной рамы; B_6 — погрешность размера в корпусе подшипника 8 от оси отверстия до опорной плоскости a ; B_7 — аналогичная погрешность корпуса подшипника 12; B_{10} — смещение оси шестерни 6 вследствие погрешностей сборки ее с трансмиссионным валом 10. Последнее составляющее звено B_{10} примыкает к замыкающему звену B_A замкнув размерную цепь.

Выявленная размерная цепь, характеризующая непересечение осей вращения конических шестерен, представляет собой плоскопараллельную цепь с одиннадцатью звеньями. Таким образом, размерные цепи, определяющие неприлегание зубьев конических шестерен рольганга, являются многозвенными взаимосвязанными цепями.

Анализ рабочих чертежей рольганга показывает, что размерную обработку его узлов производили недостаточно четко. Так, например, в чертежах корпусов подшипников указаны допуски на расстояние от оси отверстия до присоединительных плоскостей, между тем как в данном случае более важным является относительное смещение отверстий в двух корпусах; не заданы также допуски на соосность отверстий в рамках, на отклонение от перпендикулярности плоскости приливов к оси отверстия приводной рамы и некоторые другие.

Вследствие этого при сборке рольгангов выполняют значительные работы по пригонке зубчатых зацеплений, несмотря на то, что проверка конической зубчатой пары на контрольно-обкатном станке после нарезания шестерен показывает вполне удовлетворительный контакт.

Основные технические требования, предъявляемые к точности сборки распределителя шихты засыпного устройства доменной печи (рис. 5): биение контактной поверхности воронки

5 на диаметре 1836 мм не более 0,3 мм; биение корпуса 7 на диаметре 2380 мм не более 0,2 мм; клиновидный зазор между опорным роликом 4 и сегментом 6 роликового пути и не более 0,1 мм на длине образующей ролика.

Биение конуса на диаметре 2380 мм определяют следующие погрешности: овальность и биение поверхности корпуса по диаметру 2380 мм относительно поверхности беговых дорожек; отклонение опорной поверхности, образуемой тремя опорными роликами, от номинального (горизонтального) положения.

Два первых составляющих звена являются погрешностями механической обработки корпуса. Третье составляющее звено рассматриваемой размерной цепи (характеризующее погрешность сборки опорных роликов) является одновременно замыкающим звеном в размерной цепи, определяющей отклонения поверхности опорных роликов от номинального положения. Величина этого отклонения определяется погрешностями следующих линейных размеров деталей во всех трех роликах: диаметра ролика, расстояния от оси отверстия в стойке 2 до ее основания, толщины регулировочных прокладок 1. Для компенсации этих погрешностей в конструкции распределителя шихты предусмотрена регулировка как метод достижения точности замыкающего звена с помощью винта 3.

Однако указанная регулировка положения опорных роликов не компенсирует погрешностей механической обработки корпуса, т. е. не является компенсатором в размерной цепи, определяющей биение корпуса. Следует отметить, что техническими условиями на изготовление корпуса овальность его на диаметре 2380 мм не оговорена; следовательно, овальность может находиться в пределах поля допуска на диаметр, т. е. 1 мм.

Проведенный размерный анализ узла показал, что в конструкции неудачно выбрано компенсирующее звено, так как оно является общим для нескольких размерных цепей и не компенсирует погрешностей в рассмотренной размерной цепи. Это приводит к тому, что при сборке распределителя шихты не удается достичь требуемой точности замыкающих звеньев без дополнительных пригоночных работ.

При сборке шахтных подъемных машин (рис. 6) на заводе-изготовителе не обеспечивались технические требования к биению тормозного поля барабана (не более 0,5 мм), в связи с чем производили дополнительную обработку его после сборки. Это приводило к увеличению трудоемкости, сборочных площадей и цикла изготовления.

Как следует из рис. 6, в размерной цепи, определяющей биение поверхности тормозного поля, составляющими звеньями являются: β_1 и β_2 — радиальные биения подшипников 1 и 7 левой и правой опор вала; β_3 — относительное смещение шеек под подшипники 1 и 5 левой опоры и ступицы 3 диска 4 барабана; β_4 — эксцентриситет наружной и внутренней поверхностей про-

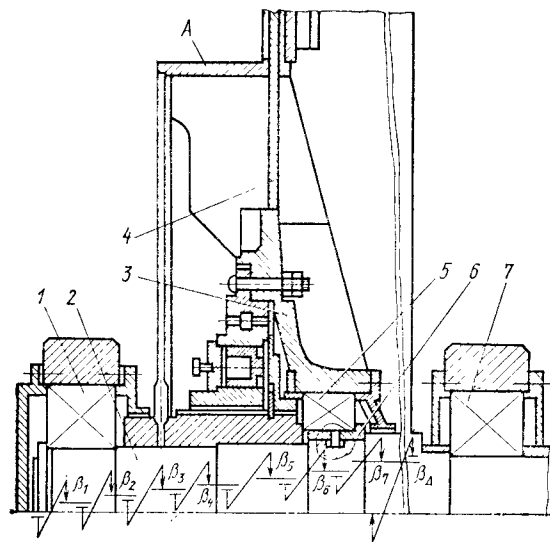


Рис. 6. Размерная цепь, определяющая биение тормозного поля барабана шахтной подъемной машины

межуточной втулки 6; β_5 — радиальное биение подшипника 5 ступицы; β_6 — биение поверхности тормозного поля А относительно оси отверстия в ступице; β_7 — овальность поверхности тормозного поля.

Наиболее значимыми погрешностями являются звенья β_6 и β_7 . Погрешность β_6 можно свести к минимуму путем обработки отверстия в диске и поверхности тормозного поля с одной установки на станке. В рабочих чертежах эта погрешность β_7 , т. е. овальность поверхности тормозного поля, вообще не регламентируется и, следовательно, могла находиться в пределах поля допуска на диаметр 2900—1 мм. Проведенные измерения показали, что фактическая величина овальности достигает 0,45—0,65 мм. Перераспределение допусков в размерной цепи β и ограничение допустимой величины овальности поверхности тормозного поля (звена β_7) в пределах 0,1 мм позволили повысить собираемость шахтной подъемной машины.

Вопросы размерного анализа собираемости сборочных единиц приобретают особое значение в условиях модульно-агрегатного метода монтажа изделий, когда сборочные единицы в виде отдельных блоков и агрегатов изготавливают в специализированных цехах, а затем производят общую сборку с соответствующим центрированием. При монтаже по такому методу крупногабаритного оборудования, например, из-за недостаточной собираемости объем пригоночных работ часто достигает 50 % всей трудоемкости монтажа. В этих условиях производят контрольную сборку агрегатов на специальных сборочных стендах, имитирующих часть базового узла с соответствующей разбивкой на поверхностях стенда следов базовых плоскостей и ли-

ний. Однако при этом объем пригоночных работ не снижается, а лишь переносится из общей сборки на изделия в контрольную сборку в цехе. Устранить или резко снизить пригоночные работы позволяет только размерная отработка сборочных единиц и определение возможностей технологии обеспечить правильное сопряжение агрегатов. Наиболее важно при этом произвести анализ взаимосвязи и расчет погрешностей формы и расположения сопрягаемых поверхностей, на основе чего на сборочных стендах предусматривают разметку единых базовых линий и установку специальных фиксаторов, контрольных платиков и упоров, фиксирующих положение сопрягаемых поверхностей агрегатов. Такой метод повышения собираемости успешно применяют, например, в тяжелом машиностроении при сборке крупного оборудования цепным методом и с помощью карт измерений, при сборке станков-качалок штанговых глубинных насосов нефтяных скважин и др.

В изделиях единичного мелкосерийного производства повышение собираемости обеспечивают чаще всего применением конструктивных размерных компенсаторов, предназначенных для поглощения суммарной величины отклонений составляющих звеньев сборочных размерных цепей.

Наиболее удобны самоустанавливающиеся компенсаторы, не требующие настройки при сборке (сферические подшипники, гибкие муфты, карданы), а также подвижные компенсаторы, с помощью которых можно восстанавливать точность узлов не только в процессе их сборки, но и во время эксплуатации машины после изнашивания сопрягаемых поверхностей деталей (компенсаторы клиновые, винтовые и т. п.).

Во многих сборочных единицах применимы упругие компенсаторы (пружинные, эластичные и др.), не требующие регулирования величины предварительной деформации, или неподвижные компенсаторы (прокладки, шайбы, упорные кольца и др.), позволяющие заменить пригоночные операции простой сменой компенсирующих элементов.

Широкое применение в конструкциях подшипниковых узлов машин для регулирования осевого зазора получили компенсаторы в виде набора прокладок (рис. 7, а); иногда для этих целей (рис. 7, б) используют упругий элемент 1 крышки 2 подшипника.

В отдельных случаях вопросы компенсации погрешностей, возникающих при сборке, можно решать за счет изменения конструктивных элементов сопрягаемых деталей. Например, напрессование зубчатых колес на валы часто осуществляют путем подогрева охватываемой детали до требуемой температуры и последующей сборки до упора в бурт вала или кольцо подшипника. Однако после стабилизации температуры между этими деталями образуется осевой зазор (за счет уменьшения линейных размеров охватываемой детали после ее остывания),

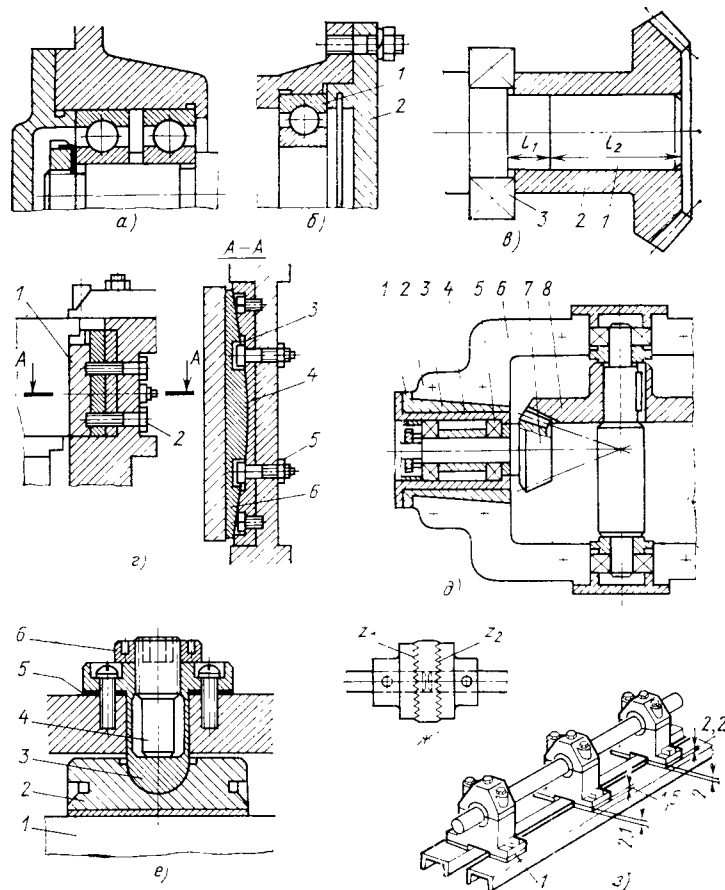


Рис. 7. Конструктивные схемы компенсаторов погрешностей в сборочных единицах

что часто недопустимо по техническим требованиям на сборку и эксплуатацию таких узлов. В целях предотвращения появления такого зазора применяют способ неподвижного соединения таких деталей, сущность которого заключается в следующем (рис. 7, а).

Вал 1 на участке, прилегающем к посадочной поверхности подшипника 3, имеет кольцевой выступ и сопрягается с зубчатым колесом 2 на участке l_1 по посадке с натягом δ_1 , а на участке l_2 вала сопряжение осуществляется по посадке с натягом δ_2 , причем $\delta_1 > \delta_2$. При остывании ступицы посаженного в нагретом состоянии зубчатого колеса 2 первоначальное схватывание происходит на участке l_1 , прилегающем к торцу кольца подшипника 3, т. е. в зоне с большим натягом. Вследствие это-

го изменение продольных размеров ступицы колеса происходит в направлении стыкующихся торцов, и осевой зазор практически не образуется.

На рис. 7, г приведена конструктивная схема комбинированного клинового компенсатора, позволяющего компенсировать как линейные, так и угловые погрешности в подвижных соединениях деталей машин. Перемещением клиньев 1 и 6 в поперечном направлении обеспечивают линейное регулирование размеров в сопряжении, а перемещением клина 6 с помощью эксцентриковых головок болтов 3 по вогнутой поверхности постели 4 обеспечивают угловое регулирование клиновой направляющей 1. Клиновая система компенсатора после регулирования закрепляется винтами 2 и гайками 5.

На рис. 7, д показана коническая передача, точность сборки которой по всем необходимым параметрам (см. стр. 112) достигается применением в ней двух втулок, одна из которых, втулка 3, эксцентрична и размещена в отверстии втулки 2, ось внутренней поверхности которой наклонена к оси наружной ее поверхности. Зацепление конической пары регулируют путем поворота втулки 2 относительно корпуса 6 до равенства угла между осями вращения колес 7 и 8 его номинальному значению, а затем с помощью поворота втулки 3 (вместе с опорами 4 и 5) относительно втулки 2 ликвидируют непересечение осей вращения колес 7 и 8. Затем с помощью набора прокладок 1 производят осевое регулирование конических колес для совпадения вершин делительных конусов.

Для повышения точности регулирования в некоторых случаях удобно комбинировать пригонку и регулирование. В устройстве для регулирования зазора (рис. 7, е) сначала за счет пригонки компенсаторного кольца 5 предварительно устанавливают опорную пяту 3 на требуемом расстоянии от шпинделя 1, а затем с помощью нажимного винта 4 растягивают тонкую трубчатую стенку опорной пяты в пределах упругих деформаций, перемещая ее сферическую головку и опирающийся на нее вкладыш 2 подшипника и изменяя таким образом зазор между последним и шейкой шпинделя. Стопорение нажимного винта производят контргайкой 6.

Для компенсации погрешностей расположения соединяемых валов применяют дифференциальную зубчатую муфту (рис. 7, ж) с числом зубьев на одной стороне z_1 , а на другой — z_2 , причем $z_1 - z_2 = 1$.

Во многих неподвижных соединениях для сокращения трудоемкости сборки может быть применена пластмассовая прокладка 1 (рис. 7, з) в качестве универсального компенсатора погрешностей. Для этого в зазоры между сопрягаемыми поверхностями деталей, образовавшимися в результате их взаимной выверки, с помощью специального устройства нагнетается пластмасса в вязко-текучем состоянии. После затвердевания

при обычной температуре пластмассовая прослойка превращается в компенсатор требуемого размера и формы. Применение таких компенсаторов повышает производительность и улучшает качество сборочных работ, не требует высокой точности обработки сопрягаемых поверхностей, снижает затраты на обработку деталей и сборку машин.

Расчет размерной цепи, методика проведения которого регламентирована ГОСТ 16320—80, является завершающим этапом размерной отработки, на котором определяют метод достижения требуемой точности замыкающего звена (полной, неполной, групповой взаимозаменяемости, пригонки, регулировки).

Хотя в условиях единичного и мелкосерийного производства наиболее распространенными методами достижения точности являются пригонка и регулировка, остальные методы также часто применяют при сборке различных сборочных единиц. Методы взаимозаменяемости используют, например, при сборке сборочных единиц с цилиндрическими зубчатыми передачами и для обеспечения правильного углового расположения осей конических и червячных передач, во многих малозвенных (число составляющих звеньев до 4—5) размерных цепях, а метод групповой взаимозаменяемости — при сборке гидравлических сборочных систем и т. д.

Выбор метода должен быть экономически обоснованным, исходя из расчета размерных цепей. Если пригонка неизбежна, то она должна осуществляться за счет звена, на котором с технологической точки зрения ее проще всего осуществить. При этом допуски на остальные составляющие звенья назначают расширенными с учетом технологических возможностей их обеспечения в производстве.

Для расчетов сборочных размерных цепей применяют два метода: минимума-максимума (предельных отклонений) и вероятностный, области применения которых регламентированы ГОСТ 16320—80.

Для многозвенных размерных цепей предпочтительно применять вероятностный метод расчета размерных цепей, базирующийся на законах математической статистики. Для применения этого метода в условиях единичного и мелкосерийного производства необходимы статистические характеристики рассеяния размеров деталей при различных видах обработки на ненастроенном оборудовании, определение которых затруднено из-за ограниченных возможностей получения необходимого числа точностных параметров одних и тех же поверхностей. Поэтому в таких случаях применяют регламентированную ГОСТ 16.306—74 методику, согласно которой на основе конструктивного подобия деталей, а также общности технологических факторов, определяющих точность их обработки, в одну статистическую совокупность объединяются фактические (измеренные) погрешности однородных параметров точности дета-

лей с различными номиналами и допускаемыми отклонениями этих деталей.

Для математической обработки полученных таким путем статистических данных используют приведенные отклонения, представляющие собой отклонения контролируемого параметра детали относительно его номинальных значений, выраженные в относительных единицах.

Наиболее удобно расчет приведенных отклонений производить относительно нижнего предельного отклонения

$$\Delta_{pri} = \frac{\Delta_{di} - \Delta_{ni}}{\delta_i}, \quad (5)$$

где Δ_{pri} , Δ_{di} , Δ_{ni} — соответственно приведенное, действительное (измеренное) и нижнее предельное отклонение размера i -й детали; δ_i — допуск на размер i -й детали.

Для отклонения формы и расположения поверхностей деталей, объединенных в одну выборку, приведенные отклонения $\Delta_{pri} = \frac{\Delta_{di}}{\delta_{fi}}$, где δ_{fi} — допуск на отклонение формы или расположения поверхностей i -й детали.

Правомерность такой методики оценки точности обработки деталей для учета ее при расчете сборочных размерных цепей подтверждена экспериментальными исследованиями авторов.

Формулы для расчета размерных цепей приведены в ГОСТ 16320—80. С учетом громоздкости этих расчетов важной задачей является их механизация. Наиболее эффективно для сокращения затрат времени на размерные расчеты использовать ЭВМ. При алгоритмизации задачи в качестве рабочей гипотезы целесообразно принять следующее. Достижение требуемой точности замыкающего звена должно обеспечиваться при экономически достижимых пределах точности составляющих звеньев, поэтому необходимо прежде всего опробовать метод полной взаимозаменяемости, затем (в случае жестких допусков) метод неполной взаимозаменяемости; если допуски составляющих звеньев и после этого оказываются трудно достижимыми, точность замыкающего звена обеспечивают методом регулирования или пригонки. Составленная в соответствии с этим блок — схема алгоритма решения линейных размерных цепей показана на рис. 8.

В перечень исходных данных входят: характеристики замыкающего и составляющих звеньев (номинальные размеры L_A и L_i , допуск δ_A замыкающего звена, передаточные отношения ξ_i составляющих звеньев), таблицы допусков по всем качествам для различных интервалов размеров, значения статистических коэффициентов λ_i рассеяния и экономически достижимых пределов точности. Если в состав составляющих звеньев входят размеры, предельные отклонения которых регламентируются рабочими чертежами деталей или стандартами, то допуски

4. Расчетные параметры составляющих звеньев

A (I)	L (I)	D (I)	KCI (I)	A (I)	L (I)	D (I)	KCI (I)
A (0)	+0.00	+0.16	—	A (6)	+49.50	+0.20	—1
A (1)	+1100.00	+0.40	+1	A (7)	+46.00	+0.20	—1
A (K)	+3.00	+0.04	+1	A (8)	+770.00	+0.30	—1
A" (2)	+344.00	+0.20	+1	A (9)	+73.00	+0.20	—1
A (3)	+13.00	+0.10	+1	A (10)	+32.00	+0.10	—1
A (4)	+1.50	+0.05	+1	A (11)	+465.00	0.12	—1
A (5)	+26.00	+0.10	—1				

5. Расчетные параметры компенсирующего звена

AK (I)	LK (I)	DK (I)	AK (I)	LK (I)	DK (I)
1	+3.00	+0.4	9	+2.04	+0.4
2	+2.88	+0.4	10	+1.92	+0.4
3	+2.76	+0.4	11	+1.80	+0.4
4	+2.64	+0.4	12	+1.68	+0.4
5	+2.52	+0.4	13	+1.56	+0.4
6	+2.40	+0.4	14	+1.44	+0.4
7	+2.28	+0.4	15	+1.32	+0.4
8	+2.16	+0.4	16	+1.20	+0.4

Результаты контрольного расчета по методике ГОСТ 16320—70 полностью совпали с данными этих таблиц.

МЕХАНИЗАЦИЯ СЛЕСАРНЫХ И ПРИГОНОЧНО-ДОВОДОЧНЫХ РАБОТ

Слесарно-вспомогательные работы. В структуре сборочного процесса эта группа работ обусловлена в основном спецификой единичного и мелкосерийного производства, при котором отдельные детали (прокладки, шайбы, скобы и т. п.) изготавливают слесарным способом на сборке. Так же выполняют слесарные операции по резке и гибке труб, резке и заплетке стальных тросов и другие.

Изготовление прокладок и шайб. При сборке обычно изготавливают прокладки из различных уплотняющих материалов (бумаги, картона, резины, фибры, паронита, кожи, фетра), а также из тонкого листа цветных и черных металлов. При единичном производстве машин такие прокладки часто вырезают (или вырубают) по месту вручную. Наряду со значительными

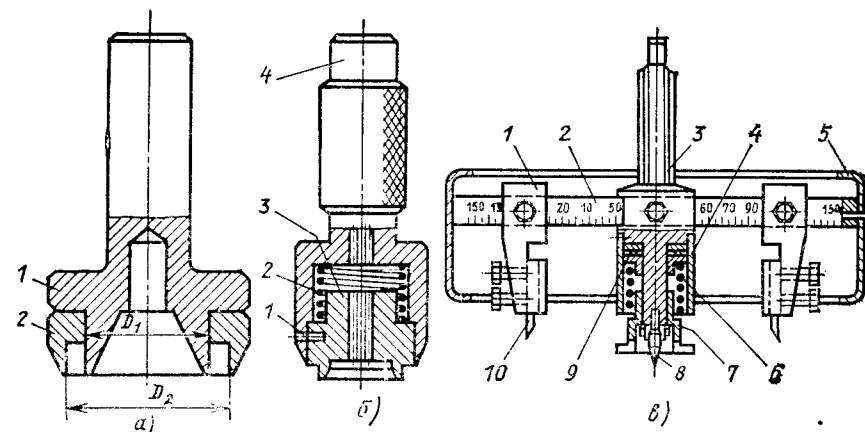


Рис. 10. Приспособления для вырезки прокладок:

а — обычная просечка; б — просечка с подпружиненным пуансоном; в — переналаживаемое приспособление к сверлильному станку; 1 — резцедержатель; 2 — рейка с делениями; 3 — оправка; 4, 5 — кожухи; 6 — пружина; 7 — упор; 8 — центр; 9 — шарикоподшипник; 10 — резец

затратами времени при таком методе изготовления прокладок качество их не гарантировано.

Более производительное и качественное изготовление прокладок достигается с помощью различных просечек и приспособлений. На рис. 10, а показана конструкция обычной просечки, состоящая из корпуса 1 с режущим конусом для внутреннего диаметра D_1 прокладки и сопряженного с ним кольца 2 с режущей кромкой для наружного диаметра D_2 прокладки. Углы заострения режущих частей корпуса и кольца принимают в зависимости от материала прокладки: для войлока (фетра) 10° , для резины $20\text{—}30^\circ$, для паронита 30° .

Вырезка прокладок с помощью просечек осуществляется вручную (путем удара молотка по головке корпуса) или под прессом. Более совершенными являются конструкции просечек (рис. 10, б) с пружиной 2, позволяющей после вырубki прокладок вытолкнуть ее из корпуса 4. Величина перемещения пуансона 3 в корпусе ограничивается фиксирующим винтом 1. Обычно с помощью просечек изготавливают прокладки небольших размеров, повторяющиеся определенными партиями при сборке различных изделий.

Для механизации вырезки прокладок целесообразно применять несложные регулируемые приспособления, устанавливаемые на металлорежущих станках. На рис. 10, в показана одна из конструкций переналаживаемого приспособления для вырезки прокладок на сверлильном станке. Настройка резцов 10 на требуемый размер прокладки осуществляется путем перемещения резцедержателей 1 по рейке 2, закрепленной в обойме 5. При этом один из резцов настраивается на наружный, а второй

на внутренний размер прокладки. Прижим материала, из которого вырезается прокладка, к столу станка осуществляется с помощью центра 8 и подпружиненного упора 7. После настройки и закрепления резцов приспособления конусной оправкой 3 вставляют в шпиндель станка и производят вырезку прокладок.

Эффективным средством механизации трудоемких слесарных операций, связанных с вырезкой из листовой стали различного фигурного контура деталей, является применение ручных электровибрационных ножниц. Они особенно удобны, когда необходимо из листового материала изготовить сложный фигурный контур с малым радиусом кривизны. Для вскрытия отверстия с замкнутым контуром необходимо предварительно просверлить круглое отверстие диаметром, превышающим диаметр режущей головки ножниц, чтобы последняя входила в отверстие.

Применяют два основных типа ножниц: вырубные и ножевые, отличающиеся только конструкцией режущей головки. Производительность электроножниц по длине реза, зависящая от толщины разрезаемого материала и мощности электродвигателя, может достигать 6 м/мин. Электровибрационными ножницами можно резать листовую сталь толщиной до 10 мм. Различные конструкции электроножниц производятся странами СЭВ, а также фирмами ряда капиталистических стран [11].

Электрические вырубные ножницы ИЭ 5501, ИЭ 5502, ИЭ 5402 и ИЭ 5403 предназначены для прямолинейной и фасонной резки листовой стали обечаек, гофрированной стали и других материалов. Ножницы ИЭ 5501 и ИЭ 5403 имеют двойную изоляцию и оснащены фильтром для подавления радиопомех. Большую номенклатуру типоразмеров вырубных и ножевых электроножниц нормальной (50 Гц) и высокой (200 и 300 Гц) частоты тока выпускают фирмы «Fein», «Bosch» (ФРГ).

Наряду с электрическими используют и пневматические вибрационные ножницы ПВН-2, ПВН-3, ИП-5401 (СССР), обеспечивающие фигурную резку листового металла толщиной 1,5—3 мм. Для резки металла различного профиля, в том числе и фигурной резки, применяют также ручные электроножницы с вертикальным расположением ножовочного полотна. Они обеспечивают резку металла толщиной до 60 мм при минимальном радиусе реза 3—5 мм.

Применение ручных электроножниц и электроножовок при слесарной обработке деталей сложной конфигурации повышает производительность труда в 5—7 раз. При этом значительно улучшается качество изготавливаемых деталей.

При сборке крупных машин в единичном производстве изготавливают различные регулировочные прокладки и шайбы из стального листа, прессшпана, паронита и других материалов толщиной 0,1—2 мм и диаметром до 1000 мм. Вырезка таких

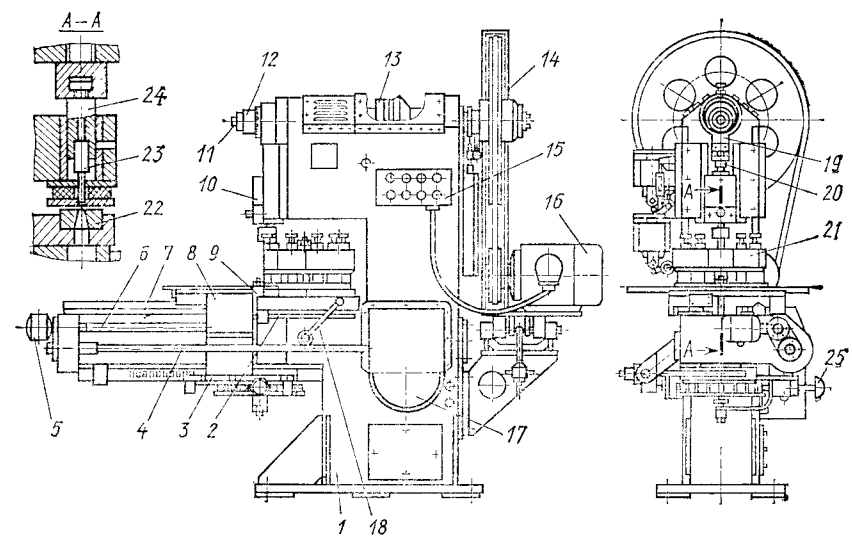


Рис. 11. Пресс-полуавтомат для изготовления прокладок:

1 — станина 2 — линейка; 3 — делительный диск; 4 — вал; 5, 16 — электродвигатели; 6 — ходовой винт; 7 — траверса; 8 — стол; 9 — шпиндель стола; 10 — ползун; 11 — кривошипный вал; 12 — зубчатая муфта; 13 — электромагнитная муфта; 14 — шкив; 15 — пульт; 17 — механизм изменения камня кулисы; 18 — рукоятка; 19 — кривошип; 20 — шаровый шарнир; 21 — револьверная головка; 22 — матрица; 23 — пуансон; 24 — пуансонодержатель; 25 — фиксатор

прокладок вручную и пробивка в них отверстий под крепежные болты являются весьма трудоемкими операциями.

Для механизации этих операций целесообразно использовать специализированные полуавтоматические прессы (рис. 11), обеспечивающие за счет простой переналадки изготовление прокладок методом последовательной обески и пробивки в них отверстий в широком диапазоне размеров [17]. Благодаря этому их использование становится эффективным и в условиях единичного производства.

Для изготовления прокладок на шпиндель 9 стола пресса устанавливают и закрепляют гайкой заготовку из листа с предварительно пробитым или просверленным по центру отверстием. С помощью револьверной головки 21 с набором инструментальных наладок для обески прокладок и пробивки отверстий путем ее поворота вокруг вертикальной оси осуществляют быструю переналадку прессы. При обеске прокладки револьверная головка с набором, состоящим из матриц 22 и пуансонов 23, устанавливается в рабочее положение таким образом, чтобы головка пуансонодержателя 24 вошла в Т-образный паз ползуна 10. После этого головку фиксируют рукояткой 18. С помощью электродвигателя 5 стол перемещают и устанавливают по линейке 2 и нониусу на необходимый наружный диаметр прокладки.

В процессе обесечки прокладки автоматически с помощью механизма 17 изменения положения камня кулисы осуществляют круговую подачу шпинделя с заготовкой под режущие части обесечного штампа. После этого поворотом револьверной головки в рабочее положение устанавливают инструментальную наладку с дыропробивным пуансоном нужного диаметра. При работе в режиме «пробивка» рукоятку фиксатора 25 устанавливают в нулевой паз делительного диска, стопоря тем самым поворот шпинделя с заготовкой. Поворот стола при пробивке отверстий осуществляют вручную путем перемещения рукоятки фиксатора 25 по делительному диску 3 с фиксирующими пазами (через каждые 15°), исходя из заданного числа отверстий в прокладке. Заключительной операцией изготовления прокладки на прессе является вырезка внутреннего диаметра. Она осуществляется аналогично обесечке наружного диаметра. При изготовлении прокладок одного и того же размера из листа толщиной 0,2—0,3 мм можно рубить одновременно пакеты листов толщиной до 1 мм.

Перспективным направлением, обеспечивающим замену слесарных методов изготовления и обработки деталей из листового материала при единичном и мелкосерийном характере их производства, является штамповка на прессах с использованием системы переналаживаемых универсально-сборных штампов (УСШ). Сущность системы УСШ заключается в том, что вместо специальных и универсальных штампов можно создавать сборные штампы, состоящие из набора отдельных унифицированных элементов. После изготовления требуемых деталей или выполнения определенных операций такие штампы разбирают на составные части, а затем komponуют из них новые штампы для других деталей. Основная цель системы УСШ — исключить недостатки специальных и универсальных штампов, пригодных для выполнения только определенных деталей или технологических операций.

Многолетний опыт НИИПТмаша и ряда предприятий по разработке, исследованию и внедрению этого прогрессивного вида оснастки позволил создать систему УСШ для листовой штамповки различных деталей толщиной до 10 мм и размером до 900 мм на прессах усилием 100—4000 кН [40, 58]. В качестве примера на рис. 12 показана одна из компоновок УСШ-16 для изготовления стопорной шайбы 8 толщиной до 3 мм и наружным диаметром 220 мм. Компоновка штампа собрана из двух взаимозаменяемых базовых плит 1 и 7, направляющих элементов 2, верхней 4 и нижней 3 державок. В нижней державке с помощью шпонки закреплена матрица 6, а в верхней державке зафиксированы и закреплены с помощью пластмассы АСТ-Т пуансоны 5.

Экономическая эффективность от одной сборки такого штампа составляет 30—40 руб. Технические возможности одного

комплекта УСШ обеспечивают сборку 1200 различных штампов в год. Применение таких УСШ позволяет изготавливать детали весьма разнообразной конфигурации.

Для выполнения операций гибки при изготовлении деталей типа скоб, полуколец, вилок, крышек и т. п. целесообразно применять универсально-сборные гибочные штампы, являющиеся разновидностью системы УСШ.

На многих заводах тяжелого, энергетического, транспортного и горного машиностроения, на предприятиях станкостроительной и других отраслей промышленности созданы специализированные участки по изготовлению деталей с применением различных комплексов УСШ. Это позволяет значительно повысить производительность и качество изготовления деталей, снизить трудоемкость слесарно-вспомогательных операций.

Резка труб, шлангов. Повышение производительности в этих случаях достигается за счет применения различных приспособлений, ручных механизированных ножовок, труборезов с дисковыми пилами или абразивными кругами.

Для резки труб и сортового проката взамен ручных ножовок целесообразно применять механизированные ножовки, повышающие производительность ручной резки в 8—10 раз, например электроножовки ОЭС-840, обеспечивающие разрезку труб диаметром 28—200 мм.

Различные конструкции электроножовок с прямым и вертикальным расположением ножовочного полотна выпускают фирмы «Fein», «Bosch», «AEG» (ФРГ), «Star» (Италия). Например, фирма «Fein» выпускает прямые ножовки модели АСТ 663 для резки труб диаметром до 305 мм и различных металлических профилей высотой до 270 мм.

Наиболее широкое распространение для резки труб и другого профильного проката получили дисковые пилы, выпускаемые в различном конструктивном исполнении (ручные и настольные) разных типоразмеров. Дисковые пилы всех типов имеют устройство для регулирования глубины пропила и изме-

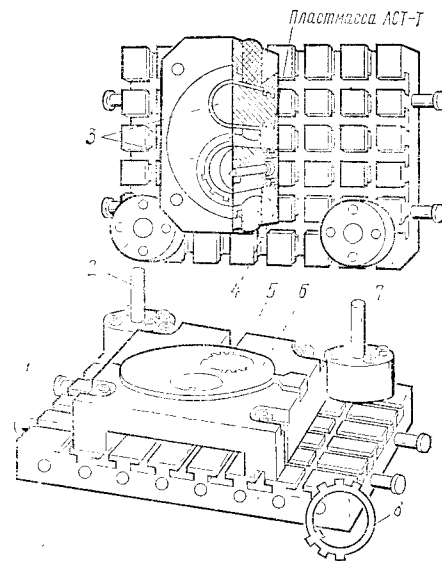


Рис. 12. Универсально-сборный штамп УСШ-16

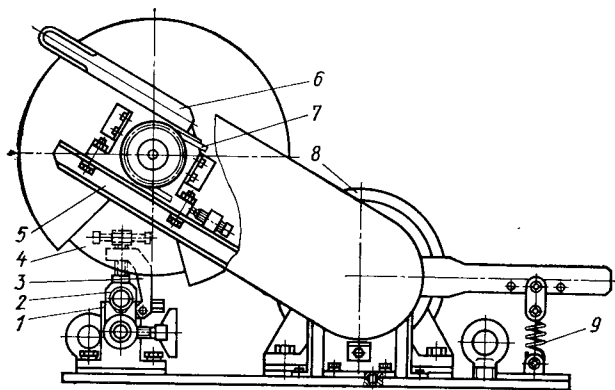


Рис. 13. Устройство для абразивной резки труб

нения угла наклона диска от 90 до 45° к обрабатываемому материалу.

Дисковая ручная пила С-488 (конструкция ВНИИСМИ) обеспечивает резку профильного проката и труб любого диаметра с толщиной стенки до 60 мм, пила при этом вручную поворачивается вокруг разрезаемой трубы. В зависимости от профиля разрезаемого металла пила комплектуется сменными направляющими упорами. Аналогичные конструкции ручных, а также настольного типа дисковых пил производят фирмы «Wolf» (Англия), «Fein» (ФРГ).

Для резки труб абразивными кругами используют различные приспособления и механизированные устройства. Например, на производственном объединении «Уралмаш» и в ряде других заводов применяются устройства для абразивной резки труб (рис. 13). Резка производится вулканическим кругом 4, шпиндель которого закреплен на качающейся раме 5. Вращение круга осуществляется через ременную передачу 7 электродвигателем 8, а подача круга — вручную рукояткой 6. Разрезаемую трубу устанавливают на призмы 1 до регулируемого упора 2 и закрепляют откидным прижимом 3. По окончании резки рама 5 возвращается в исходное положение пружиной 9. Диаметр разрезаемых труб от 10 до 45 мм. Частота вращения абразивного круга 2000 об/мин.

Заменяя абразивный круг тонким стальным диском, можно производить резку на мерные длины резиновых шлангов и шлангов высокого давления из прорезиненных тканей для пневмо- и гидросистем.

Переносные машинки МРТ-2 предназначены для резки абразивным диском труб диаметрами 32, 38 и 42 мм, а также машины СА-60 для абразивной резки трубы и сортовой стали.

Резка и заплетка тросов. При сборке экскаваторов, грузо-

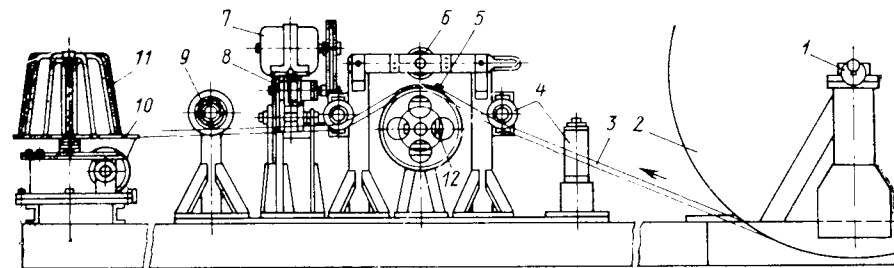


Рис. 14. Установка для резки тросов необходимой длины:
1 — стойка; 2 — бухта; 3 — трос; 4, 6, 9 — направляющие ролики; 5 — измерительный ролик; 7, 10 — электродвигатели; 8 — абразивный круг; 11 — барабан; 12 — механизм измерения

подъемных кранов выполняют трудоемкие работы по заготовке тросов мерной длины. Опыт ряда заводов свидетельствует о том, что такие работы целесообразно механизировать за счет создания установок для резки тросов необходимой длины (рис. 14).

Измерение троса осуществляют с помощью обкатного ролика 5 и механизма 12, автоматически выключающего привод барабана после намотки троса соответствующей длины.

Резку троса производят абразивным кругом 8 на вулканической основе, обеспечивающим рез без заусенцев. Круг с приводом смонтирован на качающейся вокруг оси раме. Указанная установка обеспечивает резку тросов длиной 5—80 м, диаметром 8—24,5 мм. При этом производительность труда повышается в 2,5—3 раза. Подобные установки используют на предприятиях также для механизации резки канатов и проволоки необходимой длины при выдаче их со склада.

К числу специфических операций, выполняемых при сборке, относится заплетка концов стальных тросов. Ручная заплетка — операция весьма трудоемкая, малопродуктивная и не обеспечивает необходимой прочности и надежности. Поэтому механизация такой операции имеет важное значение. Заслуживает внимания опыт предприятий нефтепромыслового оборудования, применяющих станки для механизированной заплетки стальных тросов [49]. При работе на станке (рис. 15) свободный конец троса закрепляют в призмах 4 траверсы 6 и проушинах клинового захвата 3, установленного на столе 2. При включении станка траверса перемещается от редукторного привода 5 по стойке вверх до тех пор, пока сила натяжения троса не достигнет заранее установленной величины. После этого подъем траверсы прекращается и включается механизм вращения стола 2, состоящий из редуктора 1 и реверсивного электродвигателя 7, смонтированных в станине станка 8. При вращении стола трос раскручивается до образования щелей между нитями достаточ-

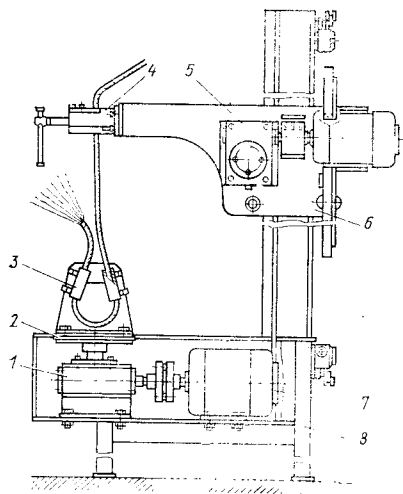


Рис. 15. Станок для механизированной заплетки стальных тросов

гибке труб. Наиболее распространенными способами гибки труб в условиях единичного и мелкосерийного производства являются: гибка с применением профильного шаблона и обкатывающего ролика с закреплением одного конца трубы или со свободным ее перемещением, а также гибка путем огибания трубы на профильный шаблон с закреплением отгибаемого конца трубы скобой и опорой на подвижный прижим (или ролик). При таких способах гибки удастся осуществить более быструю переналадку станков и устройств на различные диаметры труб и радиусы ихгиба.

На машиностроительных предприятиях и в монтажных организациях применяют различные по конструктивному исполнению трубогибочные станки и машины с электромеханическим, гидро- и пневмоприводами [9, 41].

При сборке трубопроводов наряду с гибкой необходимо выполнять слесарные операции по резке труб, снятию фасок и нарезанию резьбы. Для выполнения этих операций целесообразно применять установки, оборудованные различными механизированными устройствами. Одна из установок такого типа (конструкция НИИПТмаша) показана на рис. 16.

На столе 1 установки размещен трубогиб, состоящий из профильного гибочного шаблона 2 и прижимного ролика 4, которые выполнены в виде ступенчатых блоков и соединяются во время гибки друг с другом посредством откидной траверсы 3. Каждая из ступеней блока рассчитана на трубу определенного диаметра (14—48 мм) с соответствующим радиусом гибки,

ной величины. Пряди и проволока распущенного конца троса специальным инструментом вплетаются в щели раскрученного участка троса. После этого опусканием траверсы и обратным вращением стола трос закручивается с вплетенными в него прядями и нитями.

Станок предназначен для заплетки стальных тросов (канатов) диаметром 10—22 мм и обеспечивает заплетку до десяти канатов в 1 ч, что почти в 2,5 раза превышает производительность ручной заплетки.

Гибка труб. При сборке трубопроводов различных машин значительный удельный вес занимают работы по

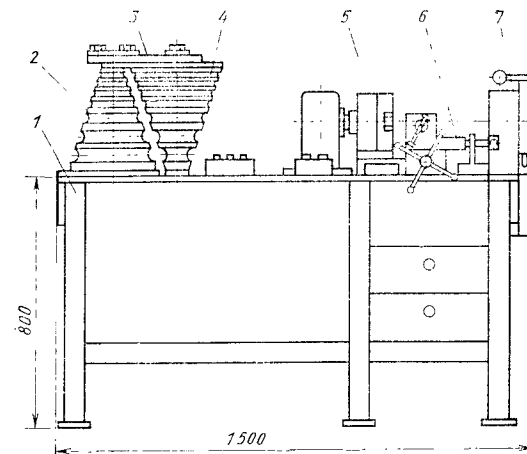


Рис. 16. Установка для механизации слесарных операций при гибке труб

Гибка труб осуществляется путем наматывания трубы на шаблон при его вращении от электропривода, установленного в корпусе установки. При извлечении изогнутой трубы траверса 3 откидывается и ролик 4 отодвигается от шаблона. Отрезку труб осуществляют абразивным кругом с помощью маятникового устройства 7.

Для нарезания резьбы или снятия фасок трубу закрепляют в самоцентрирующем зажиме 6. Режущий инструмент (плашку) устанавливают в приводном патроне 5 с помощью переналаживаемых сменных воротков. Для снятия фасок в патрон вставляют резцовую головку, переналадку которой осуществляют перемещением резцов в радиальном направлении и установкой их по настроечному шаблону. Применение таких механизированных установок позволяет значительно повысить производительность слесарно-сборочных работ.

При холодной гибке труб большого диаметра в месте изгиба обычно образуются эллипсность и другие погрешности профиля. Эти недостатки могут быть устранены за счет применения рациональных схем осуществления процесса гибки в трубогибочных станках. В этой связи заслуживает внимания станок конструкции НИИПТмаша для качественной бездорновой холодной гибки труб с комплектом сменных инструментальных наладок, обеспечивающих его быструю настройку.

Принятая технологическая схема гибки (рис. 17) предотвращает появление гофров и эллипсности благодаря наличию калибровочного ролика 5, имеющего специальный профиль ручья. Труба 1 перед гибкой зажимается в ручьях вкладыша гибочно-

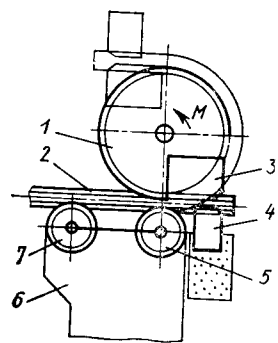


Рис. 17. Гибка труб с компенсационным роликом

го шаблона 2 и колодки 3 суппорта 4, а также прижимается к гибочному шаблону калибровочным роликом 5 и опирается на гибочный ролик 7, расположенный на суппорте 6. В результате этого труба подвергается предварительной деформации, придающей ей компенсационную эллипсность в плоскости, перпендикулярной к плоскостигиба. При совместном вращении суппорта 4 и гибочного шаблона 2 (по стрелке M) труба навивается на шаблон, образуя необходимый изгиб. В процессе гибки компенсационная эллипсность ликвидируется, и труба в месте изгиба приобретает форму круга.

Станок выполнен с вертикальным расположением шпинделя гибочного шаблона, привод — гидравлический. Основные технические данные станка: наружный диаметр изгибаемых труб 14—60 мм; максимальный уголгиба 220°; производительность 30 гибов-ч; масса 2700 кг. Сменная инструментальная наладка включает комплект гибочных шаблонов (секторов), зажимных колодок, калибровочных и гибочных роликов.

Внедрение трубогибного станка на Днепропетровском заводе металлургического оборудования позволило ликвидировать тяжелый ручной труд, повысить производительность и улучшить качество гибки. На этом заводе применяются также УСП (шаблоны) для гибки труб в различных плоскостях, разработанные НИИПТмашем.

Перспективным направлением механизации и автоматизации гибки труб является использование трубогибных станков с ЧПУ, управляемых ЭВМ. Фирмой «Addisson Tool Co» (Англия) разработана система ЧПУ-ЭВМ для управления процессом гибки труб по заданной программе. По данным фирмы, управляемую по программе гибочную машину с одинаковым успехом используют как при массовом, так и при мелкосерийном и даже единичном производстве изделий.

Подобные конструкции трубогибных станков с ЧПУ производят ряд зарубежных фирм, применение которых в различных отраслях машиностроения обеспечивает повышение производительности труда и значительно улучшает качество изготовления гнутых элементов.

Слесарно-доделочные работы. Объем слесарно-доделочных работ зависит от степени законченности механической обработки деталей, поступающих на сборку. К этому виду работ относятся слесарные операции по снятию заусенцев, фасок, опиловке деталей по контуру, зачистке неровностей, забоин с

целью придания товарного вида деталям, а также сверление и развертывание отверстий, нарезание резьбы и т. п.

Опиливание, снятие заусенцев и фасок. Эти операции в большинстве случаев выполняют вручную или с применением средств малой механизации. Затраты на выполнение этих операций для многих деталей сложной формы достигают более 30 % стоимости их изготовления. Поэтому изыскание методов исключения или уменьшения образования заусенцев, а также рациональных средств механизации удаления заусенцев и выполнения опиловочно-зачистных операций является актуальной задачей.

Анализ процесса образования заусенцев показывает, что их размер и форма в значительной мере зависят от вида и режимов обработки резанием, применяемого инструмента.

В качестве примера на рис. 18 показаны величины L и профиль образующихся заусенцев в зависимости от глубины резания при торцовом фрезеровании плоскостей [68].

Следовательно, варьируя режимами обработки, можно управлять процессом образования заусенцев. В отдельных случаях при изготовлении деталей рационально применять комбинированный инструмент, обеспечивающий обработку и одновременное снятие заусенцев или фасок (например, комбинированное сверло — зенкер).

Для механизации опиловочных операций применяют пневматические напильники; универсальные опиловочно-шлифовальные станки с гибким валом на специальной стойке или подвешенного типа; ручные шлифовальные машины, работающие абразивными кругами или металлическими щетками, и другие приспособления и устройства.

Для зачистки деталей эффективно используют также различные по конструктивному исполнению машины и установки с бесконечной абразивной лентой. Например, фирма «Skil» (Голландия) изготавливает ручные шлифовальные машины для зачистки поверхностей широкой абразивной лентой крупных деталей. Мощность электродвигателя (с двойной изоляцией) 900 Вт, питание от сети напряжением 220 В, частота тока 50 Гц; ширина шлифующей ленты 100 мм, длина — 560 мм; имеется устройство для регулирования натяжения ленты, а также специальный мешок для отсоса пыли. Машину оборудуют специальной стойкой для стационарной работы, в результате чего можно зачищать мелкие детали. Масса машины 6,5 кг. Аналогичные ма-

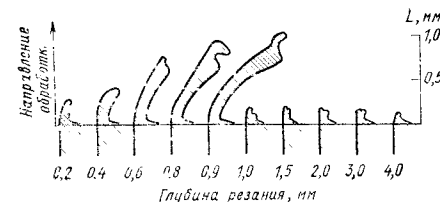


Рис. 18. Зависимость величины и профиля заусенцев от глубины резания при торцовом фрезеровании

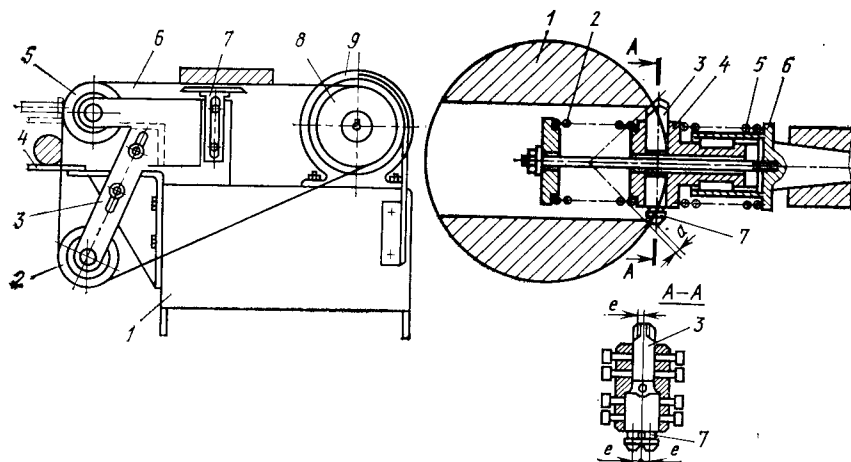


Рис. 19. Настольный ленточно-шлифовальный станок для слесарной обработки деталей:

1 — рама; 2 — натяжной ролик; 3 — натяжное устройство; 4 — подлокотник; 5 — рабочий ролик; 6 — абразивная лента; 7 — подставка; 8 — шкив; 9 — электродвигатель

Рис. 20. Устройство для механизации снятия фасок в поперечных отверстиях валов

шины производят фирмы «Bosch» (ФРГ), «Festo» (Австрия) и др.

Для снятия заусенцев и слесарной обработки мелких деталей целесообразно применять малогабаритные станки с абразивной лентой. На рис. 19 показан универсальный настольный ленточно-шлифовальный станок (конструкции НИИПТмаша) для слесарной обработки различных небольших деталей, применяемый на ряде машиностроительных заводов.

Плоские детали типа фланцев, планок, шайб обрабатывают на горизонтальном участке абразивной ленты 6, имеющей ширину 40 мм и развернутую длину 1600 мм. Торцы болтов, винтов, трубок и других деталей, когда требуется снять сравнительно большой слой металла, обрабатывают с прижимом к верхнему обрезиненному ролику 5. Свободную вертикальную ветвь абразивной ленты используют для зачистки различных деталей цилиндрической формы, устанавливаемых на подлокотник 4. Габаритные размеры станка 310×650×405 мм, масса 60 кг.

Для снятия фасок и радиусов на кромках поперечных отверстий в валах, трубах и обечайках рационально использовать устройства, обеспечивающие выполнение этих операций на металлорежущих станках взамен ручной опиловки на сборке шлифовальными машинками [Л. с. № 566675 (СССР)].

Одна из конструкций такого устройства показана на рис. 20. С помощью оправки 6 с хвостовиком устройство закрепляет-

ся в шпинделе горизонтально-расточного станка, ось которого совмещается с осью отверстия в детали 1, в котором необходимо снять фаски. Резец 3 закрепляется в стакане 4 так, чтобы его вылет соответствовал размеру снимаемой фаски, и перемещается с оправкой до соприкосновения с кромкой отверстия. После этого копирный ролик 7 устанавливается с эксцентриситетом, направленным в противоположную сторону размеру e от режущей кромки резца до оси вращения (см. сечение А—А). Затем ролик регулируется с помощью щупа таким образом, чтобы между образующей ролика и обрабатываемой кромкой оставался зазор a , равный толщине снимаемой стружки. После такой настройки включают вращение и продольную подачу шпинделя, в результате чего происходит обработка фаски. Пружины 2 и 5 подобраны и сжаты таким образом, чтобы создаваемая ими сила превосходила величину осевой составляющей силы резания. Благодаря этому создается возможность с помощью копирного ролика резцу совместно со стаканом перемещаться в осевом направлении по синусоидальной кривой и снимать фаску на кромке отверстия.

После снятия фаски с одной стороны устройство перемещают на другую сторону отверстия (при этом резец 3 и державка с копирным роликом 7 извлекаются из корпуса оправки). После этого снова настраивают резец и копирный ролик, причем режущая кромка резца будет смещена на величину e в противоположную сторону от оси вращения корпуса. В соответствии с этим изменяется и положение копирного ролика. Затем повторяют описанный выше процесс настройки обработки фаски отверстия. При этом подача и обороты имеют противоположное направление.

Указанное устройство обеспечивает снятие фасок в поперечных отверстиях диаметром 160—300 мм.

Снятие заусенцев и зачистка поверхностей на небольших деталях неотвественного назначения может осуществляться с помощью виброгалтовочных барабанов и установок. Для крупногабаритных деталей применяют дробеструйную и гидроабразивную очистку поверхностей. Эффективными методами удаления заусенцев в труднодоступных местах сложных деталей являются химический или электрохимический способы обработки. Более управляемым является процесс электрохимической обработки, обладающий большей способностью локализации мест удаления металла за счет размера и размещения электрода, регулирования силы тока, применения защитных экранов и добавочных катодов, устанавливаемых в соответствующих приспособлениях. Принцип этого метода основан на анодном растворении металла при высокой плотности тока.

Для интенсификации процесса в установках, работающих по этому принципу, применяют насосы для прокачки электролита с большой скоростью (до 50 м/с) через зазор между катодом и

той частью поверхности детали, с которой должны быть удалены заусенцы.

К числу высокопроизводительных методов удаления заусенцев с внутренних труднодоступных поверхностей деталей сложной конфигурации относится способ, заключающийся в прокачивании с помощью плунжерных насосов раствора абразивной мастики через зону требуемой обработки. Основой абразивной мастики являются некоторые формы естественного или искусственного каучука. К этой основе добавляют различные загустители, восстановители и смазочные масла для достижения необходимых характеристик струи, а также абразив, количество и вид которого выбирают в зависимости от характера обработки. Для тонкого полирования в качестве абразива применяют окись алюминия с размером зерна 2,5 мкм, а для быстрого снятия больших заусенцев — окись алюминия с размером зерна 24 мкм. Давление, под которым подается струя, количество раствора, прокачиваемого через обрабатываемую деталь, характер траектории струи могут регулироваться в широких пределах.

Опыт применения рядом фирм США установок, работающих по этому методу, свидетельствует о их высокой эффективности и широкой области применения, начиная от единичного, мелкосерийного производства сложных и ажурных деталей и кончая подобными деталями массового производства.

Сверление и развертывание отверстий. В общем объеме сборки машин трудоемкость сверлильных операций достигает в среднем 8—12 %. Улучшение технологичности конструкции деталей (особенно сложной формы) с целью обеспечения доступности обработки всех ее поверхностей на станке является эффективным методом исключения сверлильных и других слесарно-доделочных операций на сборке.

Значительный удельный вес занимает сверление крепежных отверстий в корпусных деталях по разметке через сопрягаемую деталь (крышка, планка, фланец и т. п.). Одним из важных направлений в сокращении объемов сверлильных операций в таких случаях является применение при обработке деталей на станках универсально-сборных накладных кондукторов, состоящих из набора отдельных стандартизованных элементов.

НИИПТмашем разработана и широко внедрена на многих заводах с единичным и мелкосерийным характером производства гамма универсально-сборных накладных кондукторов для обработки крепежных отверстий в корпусах под круглые крышки (рис. 21), а также аналогичные кондукторы для обработки отверстий в разъемах стыкуемых корпусных деталей прямоугольной формы.

В тех случаях, когда выполнение сверлильных операций на сборке неизбежно, применяют различные сверлильные машины, установки и переносные станки. Сверлильные машины являются наиболее универсальным типом механизированного инстру-

мента, так как, заменив сверло другим рабочим инструментом — метчиком, разверткой, шлифовальным кругом, стальной щеткой и т. д., можно выполнять различные слесарно-доделочные операции. Это особенно эффективно в единичном и мелкосерийном производстве, где объем работы не всегда достаточен для полного использования механизированного инструмента по его основному назначению.

Механизация трудоемких слесарно-доделочных операций с помощью ручных машин позволяет значительно повысить производительность труда и культуру производства.

Каждые девять внедренных в производство ручных машин высвобождают одного рабочего, обеспечивая годовой экономический эффект 1000—1500 руб.

Сверлильные машины изготавливают как с электрическим, так и с пневматическим приводом. Электрические сверлильные машины обладают более высоким КПД (50—70 %) по сравнению с пневматическими машинами (8—15 %). Кроме этого, пневматические ручные машины по сравнению с электрическими имеют следующие недостатки: нестабильность частоты вращения и мощности; большой шум при выходе отработанного воздуха; ограниченность применения, так как требуется наличие сети сжатого воздуха.

Несмотря на значительное преимущество электрифицированного инструмента, пневматический инструмент распространен достаточно широко благодаря ряду достоинств: большой частоте и бесступенчатости изменения вращения шпинделя; значительно большей мощности на единицу массы (0,5—0,6), а у электрических 0,25—0,3; возможность перегрузки, вплоть до полной его остановки, без повреждения инструмента; простоте и безопасности обслуживания в эксплуатации и при ремонте; возможности использования во взрывоопасной зоне.

В последние годы разрабатывают мероприятия по устранению одного из основных недостатков пневматических инструментов — шума, возникающего при их работе. Для снижения уровня шума создают специальные глушители, встроенные в инструмент, которые в несколько раз снижают уровень шума.

Электрические и пневматические сверлильные машины выпускают прямыми и угловыми и подразделяют на легкие (диа-

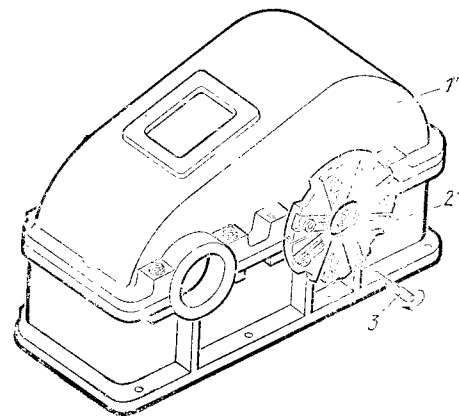


Рис. 21. Универсально-сборный кондуктор для обработки отверстий под круглые крышки:

1 — корпус; 2 — кондуктор; 3 — сверло

метр сверления до 10 мм), средние (до 15 мм) и тяжелые (свыше 16 мм).

Угловые сверлильные машины применяют для работы в труднодоступных и ограниченных пространством местах. Сверлильные ручные машины различных моделей и типоразмеров выпускают специализированные заводы «Союзстройинструмента».

Наиболее распространены электрические сверлильные машины ИЭ-1002, ИЭ-1012, ИЭ-1014, ИЭ-1017 и др. для сверления отверстий диаметром 6—25 мм.

В последние годы преимущественное применение как в зарубежной, так и в отечественной практике получили электрические сверлильные машины с двойной изоляцией, которая сочетает два элемента защиты: рабочую изоляцию, необходимую для работы машины, и дополнительную, предназначенную для защиты оператора от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции. Дополнительную изоляцию якоря осуществляют чаще всего заливкой пластмассовой изолирующей втулки между сердечником и валом якоря.

Электрические сверлильные машины с двойной изоляцией, выполненные на базе универсальных коллекторных двигателей, полностью электробезопасны. В нашей стране электрические сверлильные машины с двойной изоляцией (ИЭ-1020, ИЭ-1031, ИЭ-1022А, ИЭ-1023 и др.) выпускают Ростовское производственное объединение «Электроинструмент», Назрановский завод «Электроинструмент», Конаковский завод механизированного инструмента и др.

Сверлильные машины обычно снабжают разнообразными дополнительными сменными приспособлениями (насадками), позволяющими значительно расширить их технологические возможности. Например, электросверлильная машина ИЭ-1021 поставляется с комплектом приспособлений, включающих: две насадки гайковертов ИК-8406 и ИК-8407, обеспечивающих соответственно крутящий момент затяжки 2,2 и 2,8 Н·м; две насадки ножниц — вырубных ИК-8805 и ножевых ИК-8804, предназначенных для резки листовой стали толщиной до 2,5 мм; насадку-щетку зачистную диаметром 125 мм.

При сборке машин, как уже отмечалось ранее, наряду с электрическими применяют также и пневматические сверлильные машины (ИП-1011, ИП-1020, ИП-1012А, ИП-1016 и др.).

Современные пневматические сверлильные машины надежны и удобны в работе, они снабжены шумоглушителем.

Для облегчения труда и удобства использования ручного механизированного инструмента при сверлении отверстий на сборке широко применяют различные установочные кронштейны, скобы, штативы, а также стойки с магнитным креплением. Особенно удобны стойки с электромагнитным креплением, так как они позволяют сверлить отверстия в труднодоступных мес-

тах с различным расположением обрабатываемых поверхностей, в том числе и потолочно.

Для безопасности работы в случаях непредвиденного выключения тока (электромагнит питается постоянным током напряжением 36 В) предусмотрено подвешивание стойки с помощью специальных тросов или цепей с фиксирующим карабином.

Электромагнитные стойки фирм «Feip» и «Bux» (ФРГ), имеющие прямоугольное и круглое основание для закрепления сверлильных машин, обеспечивают сверление отверстий диаметром 16—32 мм, создавая силу прижима магнита 8,5—17 кН (мод. 90306, 90302, 2RPA, HH2A и др.). На Московском опытном заводе выпускаются магнитные стойки 2К346М для сверления отверстий диаметром до 23 мм с силой прижима электромагнита 8 кН. Указанные стойки предназначены для сверлильных машин ИЭ-1017 и ИП-1103.

На ряде заводов тяжелого и транспортного машиностроения для сверления отверстий диаметром до 32 мм в труднодоступных местах применяют пневматические сверлильные машины с электромагнитным креплением, обеспечивающим силу прижима 12 кН. Применение сверлильных машин с электромагнитным креплением сокращает затраты ручного труда на сверлильных операциях на 10—15 %.

Для сверления отверстий большого диаметра в крупногабаритных деталях (поворотные платформы экскаваторов, рамы, станины, и др.) используют переносные радиально-сверлильные станки или другие сверлильные установки.

К числу станков, применяемых при сборке крупных машин для сверления и развертывания отверстий диаметром от 25 до 75 мм, нарезания резьбы, относятся радиально-сверлильные переносные станки 2П52, 2Ш55, 2Ш57, ОС-41, а также радиально-сверлильные передвижные (по салазкам или рельсам) станки 2Н57Д, 2Р53 и др. Наличие в этих станках сверлильной головки, поворачивающейся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, обеспечивает выполнение работ под различными углами наклона шпинделя.

Операция развертывания отверстий выполняется на сборке для получения требуемой посадки в сопряжении или для обеспечения допуска соосности отверстий собираемых деталей. Толщина слоя металла, снимаемого при развертывании, колеблется от нескольких сотых до 0,2—0,3 мм и зависит от диаметра отверстия. Детали или сборочные единицы, подвергаемые развертыванию, должны быть правильно и жестко закреплены, так как смещение их может вызвать перекос оси отверстия или эксцентричную его обработку.

Для развертывания обычно применяют цельные или регулируемые развертки со вставными ножами. В зависимости от формы зуба используют развертки с прямыми и спиральными зубьями. Если требуется получить точные размеры отверстия, низ-

кую шероховатость, поверхности, а также точное их расположение, то в таких случаях для направления развертки применяют кондуктор, а развертку оснащают направляющей цилиндрической частью. Применяют также развертывание отверстий (диаметром до 80 мм) запрессованных втулок вместо шабрения, что обеспечивает не только повышение производительности труда, но и улучшение качества обработки.

Развертывание отверстий вручную — трудоемкая операция, требующая высокой квалификации. Для механизации процесса развертывания часто применяют сверлильные машины и станки.

Нарезание резьбы. В условиях единичного и мелкосерийного производства часто приходится нарезать резьбу вручную, что требует значительных трудовых затрат. Для механизации процесса нарезания резьбы применяют различные электрические и пневматические ручные машины — резьбонарезатели. По сравнению с нарезанием вручную они повышают производительность в 6—10 раз, улучшают качество резьбовых соединений и условия труда.

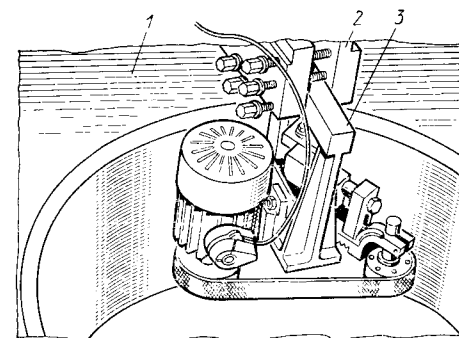
Электрические (ЭЗ401, ЭП-1340, ЭЗ403 и др.) и пневматические (ИП-3401, ИП-3403 и др.) резьбонарезатели отличаются от сверлильных машин наличием устройства для реверса шпинделя.

Для предохранения метчиков от поломки при нарезании резьбы в глухих отверстиях рекомендуют применять предохранительные патроны различного конструктивного исполнения, позволяющие автоматически прекращать вращение при превышении допустимой нагрузки на метчик.

Замена пригоночных работ на сборке отделочными методами обработки деталей на металлорежущих станках. Как уже отмечалось, эффективным направлением в решении рассматриваемой задачи является изыскание новых технологических методов и средств, обеспечивающих достижение заданной точности обработки деталей на металлорежущих станках. Это достигается за счет получивших за последние годы широкое распространение на заводах единичного и мелкосерийного производства переналаживаемых УСП для оснащения механической обработки деталей на металлорежущих станках. Применяют также различные виды отделочной обработки: шлифование, строгание широкими резцами, фрезерование однозубой фрезой с широким лезвием, обработку отверстий инструментами с микрометрической регулировкой резца, шлифование абразивной лентой, магнитно-абразивную обработку (полирование) и др.

Шлифование наиболее широко применяют на станкостроительных заводах при окончательной обработке направляющих станин мелких и средних станков на специализированном оборудовании. Отсутствие специальных станков для шлифования крупных деталей на ряде заводов восполняют за счет оснащения универсальных продольно-фрезерных или продольно-строгаль-

Рис. 22. Устройство для шлифования абразивной лентой отверстий на карусельных станках: 1 — обрабатываемая деталь; 2 — резцедержатель; 3 — корпус устройства



ных станков шлифовальными головками с индивидуальным приводом. Это позволяет почти полностью исключить ручное шабрение плоскостей на сборке.

При этом повышается производительность труда в 5—8 раз и обеспечивается отклонение от плоскостности 0,04 мм на длине 1000 мм. Шероховатость поверхности соответствует $Ra=2,5\div0,63$ мкм.

На многих заводах успешно применяют чистовое строгание плоскостей широкими резцами, что обусловлено простотой применяемого инструмента и возможностью обработки на существующих станках без какой-либо их модернизации.

Производительным методом чистовой обработки плоскостей крупных деталей является фрезерование однозубой фрезой с широкой режущей кромкой [31]. Этот метод получил широкое применение на многих заводах единичного и мелкосерийного производства при изготовлении крупных машин. Точные плоскости в этом случае окончательно обрабатывают специальной фрезерной головкой, оснащенной одним твердосплавным резцом с широкой режущей кромкой. Данный метод отделочной обработки плоскостей по сравнению с рассмотренными выше является самым производительным. Применять его можно как на продольно-фрезерных, так и на универсальных горизонтально-расточных станках. Кроме этого, использование специальных приводных фрезерных головок позволяет применить этот метод также и на продольно-строгальных станках при обработке точных плоскостей.

Эффективным направлением расширения области применения отделочных видов обработки на станках является шлифование абразивной лентой наружных и внутренних цилиндрических, плоских и фасонных поверхностей крупных деталей. Простота и компактность навесных устройств позволяют успешно использовать их на различных металлорежущих станках, при этом не требуется никакой модернизации станков. В случае необходимости устройство демонтируется, и станки могут быть использованы по своему прямому назначению.

На рис. 22 показано разработанное НИИПТмашем устройство для ленточного шлифования крупных отверстий (диаметром 800 мм) в подушках прокатных станов на карусельных станках.

Аналогичные устройства используют и для шлифования наружных цилиндрических поверхностей деталей на токарных станках. Эти устройства имеют индивидуальный электропривод и устанавливаются соответственно в резцедержателе карусельного и токарного станков. В результате применения таких устройств обеспечивается точность обработки по 7—9-му качеству, шероховатость поверхности $Ra=0,63\div 0,16$ мкм, в 1,5—2 раза повышается производительность труда.

Аналогичные приспособления и устройства также применяют для ленточного шлифования плоских и фасонных поверхностей деталей на различных металлорежущих станках. К числу высокопроизводительных отделочных операций относится магнитно-абразивная обработка деталей [30].

Проведенные НИИПТмашем исследования по обработке валков прокатных станов, штоков гидро- и пневмоцилиндров и других деталей указанным методом показали, что при этом достигается высокая производительность полирования поверхностей с обеспечением шероховатости $Ra=0,04\div 0,02$ мкм при исходной $Ra=0,63\div 0,32$ мкм. При этом повышается точность формы детали в поперечном сечении, увеличивается микротвердость и износостойкость поверхности. Рассмотренный метод полирования может применяться не только для наружных цилиндрических, но и плоских, а также фасонных поверхностей деталей.

Для повышения точности чистовой обработки крупных отверстий применяют регулируемые плавающие двухлезвийные развертки, а также расточные головки с микрометрической настройкой режущего инструмента на размер. Применение такого инструмента обеспечивает точность обработки отверстий по 7—8-му качеству, исключая их ручную доводку на сборке.

Погрешности расположения поверхностей деталей (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности) при обработке крупных деталей могут быть значительно снижены за счет повышения точности их выверки путем использования высокочувствительных устройств (клиновые домкраты, распорки) с механогидравлическим приводом.

При сборке крупных шпоночных соединений большие трудовые затраты связаны с их пригонкой, что обусловлено погрешностями расположения пазов, их размеров и неудовлетворительной шероховатостью после обработки методом пробных проходов. В связи с этим заслуживает внимания новый способ чистовой обработки шпоночных пазов [32]. Внедрение данного метода обработки шпоночных пазов позволяет обеспечить их точность и шероховатость поверхности в заданных пределах и в результате этого исключить пригоночные работы.

Механизация пригоночно-доводочных работ на сборке. Для выполнения многих пригоночных и отделочных работ на сборке широко применяют ручные шлифовальные машины с электри-

ческим и пневматическим приводом. Рабочим инструментом в таких машинах служат абразивные круги и ленты, металлические щетки, а для тонкой пригонки — кожаные, фетровые или резиновые круги с нанесенной абразивной пастой или наждачной шкуркой.

В машиностроении большое распространение получили электрические (ИЭ-2005, ИЭ-2002, ИЭ-2102А, АЭ-2003 и др.) и пневматические (ИП-2009, ИП-2002, ИП-2103 и др.) шлифовальные машины с абразивным кругом диаметром от 60 до 225 мм.

Важным фактором, определяющим условия труда рабочего при использовании ручных шлифовальных машин, является защита их от вибраций. Вибрации ручных шлифовальных машин в основном возникают из-за дисбаланса и биения шлифовального круга. Для решения поставленной задачи во ВНИИСМИ разработан ряд конструктивных схем виброзащитных систем ручных шлифовальных машин [7].

Пригонка больших поверхностей деталей даже с применением обычных шлифовальных машин является трудоемкой операцией. Поэтому для облегчения труда рабочего и повышения производительности возникает необходимость в создании новых или модернизации существующих конструкций шлифовальных машин. Точную пригонку плоскостей крупных деталей можно осуществить с помощью шлифовального устройства конструкции НКМЗ (рис. 23) с встроенной в нем пневматической шлифовальной машиной 4. По мере износа шлифовального круга 1 осуществляется его перемещение с помощью механизма микрометрической подачи 6. Для обеспечения необходимого угла наклона шлифовального круга относительно обрабатываемой поверхности в конструкции машины предусмотрена регулируемая направляющая плита 9.

Для пригонки различных поверхностей деталей на сборке применяют также шлифовальные машины с бесконечной абразивной лентой, рассмотренные ранее. Точность пригонки больших поверхностей деталей шлифовальными машинами (даже оснащенными дополнительными установочными устройствами) является сравнительно невысокой и в значительной мере зависит от квалификации рабочего. Это обусловлено тем, что базирование инструмента осуществляется по обрабатываемой поверхности, имеющей погрешности предшествующей обработки.

Особые трудности вызывает пригонка отверстий с целью получения заданного размера, точности формы и шероховатости поверхности. В общем объеме сборочных работ эта операция составляет 5—7 %. Пригонку отверстий, как правило, осуществляют ручными шаберами, а в неотвеченных сопряжениях с помощью ручных шлифовальных машин.

В отечественной и зарубежной практике известны попытки механизации доводки отверстий на сборке разработкой различ-

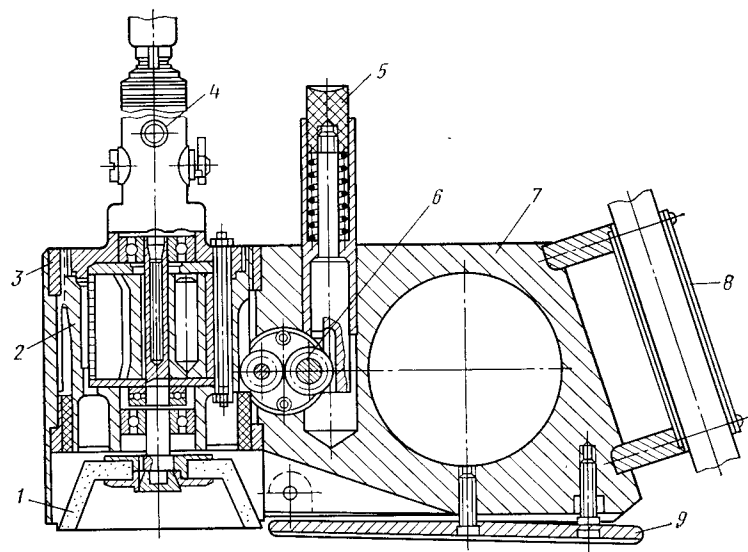


Рис. 23. Машина-шлифуг для подготовки плоскостей:
1 — шлифовальный круг; 2 — гильза; 3 — гайка; 4 — пневмомашинка; 5 — кнопка; 6 — механизм микрометрической подачи круга; 7 — корпус; 8 — рукоятка; 9 — направляющая плита

ных конструкций инструмента (сборные эластичные круги, головки с абразивной лентой и т. п.) к ручным шлифовальным машинам.

Был создан инструмент в виде цилиндрической щетки с эластичными нитями из термопластического материала типа нейлон. На концах нитей образованы шарики с нанесенным на них слоем абразива. Такой инструмент устанавливают на шпиндель шлифовальной машины и используют для доводки отверстий, внутри которых могут быть различные выточки и канавки. Известны также головки с применением абразивной ленты. В Японии запатентован шлифовальный ленточный круг, состоящий из множества расположенных по периферии рабочих элементов. Каждый из них представляет собой пакет из листов абразивной ленты, прочно прижатых друг к другу специальным зажимом.

Указанные выше разновидности инструментов позволяют производить доводку отверстий с равномерным слоем металла, но они не обеспечивают исправления погрешностей формы отверстия. Кроме того, они сложны в изготовлении и приемлемы для узкого диапазона диаметров отверстий.

Интересны устройства к шлифовальным машинам, позволяющие исправлять погрешности формы отверстий за счет определения координации положения абразивного круга относительно обрабатываемой поверхности.

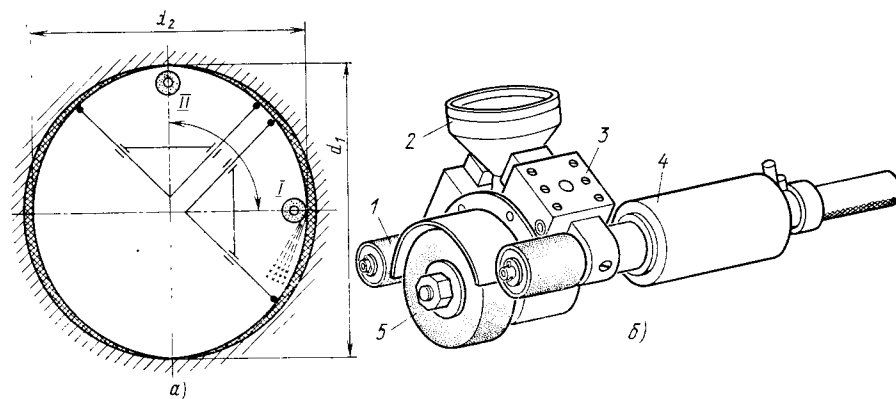


Рис. 24. Схема обработки отверстия, имеющего отклонения формы (а), и шлифовальная машина с опорными роликами (б)

На рис. 24, а показана схема работы шлифовальной машины, оснащенной устройством (приставкой), координирующим определенным образом положение шлифовального круга в отверстии. Из приведенной схемы видно, что если круг шлифовальной машины скоординировать относительно поверхности обрабатываемого отверстия, имеющего отклонение по форме, то съем припуска (заштрихованные участки) будет происходить не по всей поверхности, а в зонах с меньшим диаметром d_2 (положение I). При расположении круга в плоскости, совпадающей с наибольшим размером по диаметру d_1 , контакта с поверхностью отверстия не будет, и, следовательно, не будет происходить съем металла (положение II). На основе этой схемы НИИПТ-машем разработана и испытана в производственных условиях шлифовальная машина с центрирующей приставкой для обработки отверстий (рис. 24, б).

На корпусе шлифовальной машины 4 типа ПШМ-08-60 смонтирована приставка 3 с двумя опорными роликами 1. Перед началом обработки отверстия предварительно настраивают приставку на размер посредством регулировочного винта 2, действующего через подпружиненные штанги на опорные ролики, чтобы абразивный круг 5 при этом слегка касался отдельных мест поверхности отверстия. При включении шлифовальной машины и ввода ее в отверстие осуществляется окончательная настройка на требуемую глубину шлифования.

При шлифовании вручную с прижатием машины к обрабатываемой поверхности через опорные ролики производят обработку отверстия как по отдельным участкам поверхности, имеющим отклонения формы, так и по всей поверхности, имеющей только отклонения по размеру.

Испытания машины с приставкой производили при обработ-

ке партии деталей с отверстиями диаметром 170—190 мм, длиной 200 мм, имевшими погрешность формы в пределах 0,02—0,04 мм. В качестве режущего инструмента применялся обрезиненный круг, обтянутый абразивной лентой. После обработки отверстий погрешность их формы не превышала 0,01 мм. Время на исправление погрешностей составило от 10 до 25 мин; шероховатость поверхности $Ra=2,5\div 1,25$ мкм при исходной $Rz=40\div 20$ мкм; стойкость круга (ленты) 1—1,5 ч.

Пригонка отверстий втулок при их посадке в корпусные детали может быть исключена из технологического процесса сборки путем предварительной обработки отверстий на станках с учетом возможной усадки (см. ниже).

Шабрение поверхностей. Этот процесс применяют для получения высокой точности формы, а также необходимой шероховатости и плотности прилегания сопрягаемых поверхностей. Ручное шабрение — наиболее трудоемкий, утомительный и малопродуктивный процесс слесарной обработки, требующий высокой квалификации рабочего. В большинстве случаев шабрением в процессе сборки исправляют макрогеометрические погрешности механической обработки деталей: отклонение от плоскостности поверхностей (плоскости разъема корпусных деталей, направляющие), овальность, конусообразность и огранку цилиндрических поверхностей (вкладыши подшипников, втулки и др.). Шабрят также детали, конструктивные формы которых не позволяют обеспечить необходимую точность на станках.

Припуски на шабрение зависят от размеров пришабриваемых поверхностей. В частности, для шабрения плоских поверхностей они колеблются в пределах 0,1—0,5 мм, а для отверстий 0,03—0,2 мм. Шабрением можно получить весьма высокую точность: плоскостность и прямолинейность до 0,002 мм/м или до 30 пятен на площади 25×25 мм при проверке на краску, шероховатость поверхности $Ra=0,08—0,04$ мкм.

При сборке прецизионных станков и другого оборудования особенно высокие требования предъявляют к точности направляющих поступательного перемещения механизмов, которая обеспечивается методом тонкого шабрения. Например, при сборке координатно-расточных станков направляющие должны обеспечивать строгую прямолинейность и плавность перемещения подвижных элементов станка в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Для достижения этих требований направляющие поступательного перемещения стола и салазок шпиндельной бабки шабрят с высокой точностью. Однако часто прямолинейность нарушается деформациями, вызванными действием нагрузок устанавливаемых на них сборочных единиц (стоек, кареток и др.). Поэтому при обработке направляющих эти деформации необходимо учитывать. Это достигается за счет преднамеренного искажения формы направляющих, задаваемого в виде корриги-

рующих кривых, которые компенсируют деформации при сборке станка. Определение корригирующих кривых для направляющих каждой модели станка устанавливают экспериментальным путем с учетом действующих на них нагрузок. После этого осуществляют шабрение направляющих с получением профиля по заданной корригирующей кривой. Точность профиля направляющих при этом измеряют с помощью оптической струны ДП-477 и других высокоточных средств контроля. Применение этого метода шабрения обеспечивает высокую точность сборки станков и увеличивает износостойкость их направляющих [23].

Для сокращения вспомогательного времени при шабрении небольших деталей применяют различные универсальные или специальные переналаживаемые приспособления, обеспечивающие их быстрое закрепление и установку в нужное для работы положение. Для закрепления мелких деталей целесообразно использовать магнитные плиты.

С целью облегчения тяжелого ручного труда при шабрении и повышении его производительности в нашей стране и за рубежом создано значительное количество различных конструкций механизированных шаберов с электрическим и пневматическим приводом. Электрошабер Э5302, в комплект которого входит пять ножей (шаберов) с различной шириной режущей кромки и различными углами заточки, имеет максимальный ход ножа (величина хода регулируется) 20 мм и максимальную ширину шабрения 25 мм. Аналогичные по конструкции и техническим характеристикам механизированные шаберы с электро- и пневмоприводом производят в ВНР (модель «Evig» КН-12), ЧССР (модель IS P4-10).

Для повышения качества обработанной поверхности, предотвращения вибраций в механизированных шаберах предусматривается упругое закрепление ножа к его держателю с помощью эластичных прокладок. Применение механизированных шаберов по сравнению с ручной обработкой повышает производительность труда на 50 %. Несмотря на это, механизированные шаберы не нашли пока широкого применения в машиностроении. В известной мере это объясняется тем, что присоединение к ручному шаберу приводного механизма увеличивает его массу и габаритные размеры, уменьшает маневренность и чувствительность по сравнению с процессом ручного шабрения. Наличие привода не устраняет полностью ручной труд, а лишь несколько его облегчает. Рабочий освобождается только от необходимости придавать шаберу возвратно-поступательное движение, в то же время он должен удерживать, направлять и прижимать инструмент к обрабатываемой детали. При этом рабочий полностью воспринимает реакцию силы резания.

Для облегчения труда рабочего, затрачиваемого на удержание инструмента и восприятие силы резания, при шабрении плоскостей большой протяженности на ряде заводов тяжелого

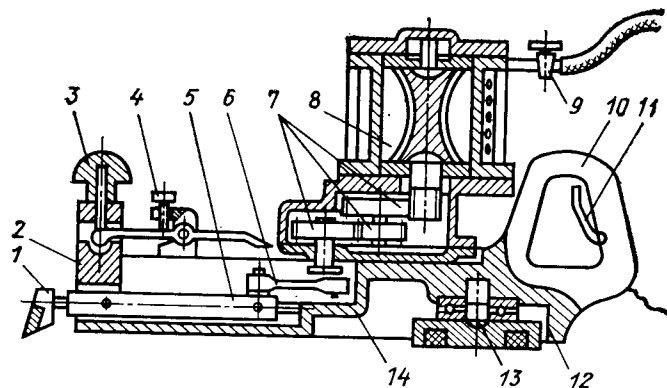


Рис. 25. Пневматический шабер с электромагнитным креплением:

1 — нож; 2 — регулируемая направляющая; 3 — гайка; 4 — винт; 5 — ползун; 6 — шатун; 7 — зубчатые колеса; 8 — ротационный пневмодвигатель; 9 — кран; 10 — рукоятка; 11 — прерыватель цепи магнита; 12 — подшипник; 13 — электромагнит; 14 — кривошипный палец

машиностроения разработана конструкция пневматического шабера с электромагнитным креплением его к обрабатываемой детали (рис. 25).

Изменение глубины резания при шабрении осуществляется с помощью регулировочной гайки 3 и винта 4. Максимальный ход шабера 40 мм. В процессе работы необходимо вручную поворачивать корпус шабера относительно опоры электромагнита, осуществляя круговую подачу на угол 120—150°. Этот шабер целесообразно применять только при обработке открытых, легкодоступных плоскостей крупных деталей.

Притирка деталей. Эту операцию применяют на сборке в тех случаях, когда требуется получить высокую точность и формы деталей или для достижения герметичности сопряжения. Для притирки на поверхностях деталей оставляют припуски в пределах 0,03—0,05 мм.

В качестве притирочных абразивных материалов обычно применяют корундовый, карборундовый, алмазный и наждачный порошок, карбиды кремния и бора, электрокорунд, окиси различных металлов (железа, хрома, алюминия и т. д.). В зависимости от твердости абразивные материалы подразделяются на сверхтвердые, твердые и мягкие. Зернистость порошков регламентируется стандартами: ГОСТ 9206—70 — для алмазных зерен и ГОСТ 3647—80 — для твердых и мягких абразивных зерен. При притирке деталей обязательно применяют машинное масло, олеиновую кислоту, керосин, бензин и другие смазывающие жидкости, а также их смеси. Состав жидкости выбирают в зависимости от материалов притираемых деталей.

К числу наиболее распространенных деталей машин и сборочных единиц, требующих притирки при сборке, относятся зо-

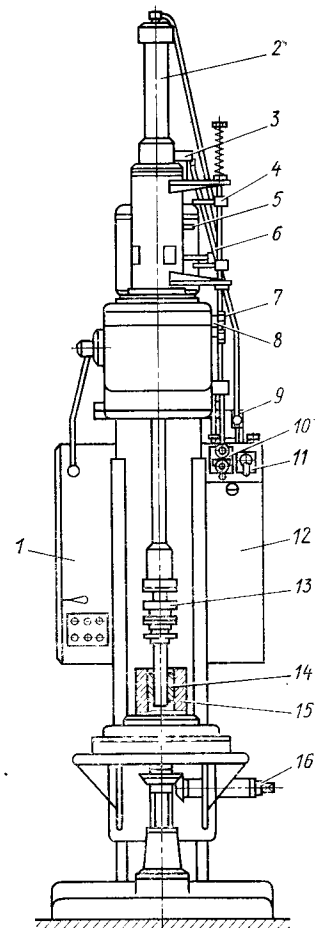
Рис. 26. Устройство к вертикально-сверлильному станку для притирки отверстий:

1 — пульт управления; 2 — гидроцилиндр; 3 — клапан; 4 — упор; 5 — манометр; 6 — штанга переключения; 7 — кулачок; 8 — конечный выключатель; 9 — четырехходовой золотник; 10 — дроссель; 11 — кран; 12 — маслобак; 13 — плавающая оправка; 14 — притир; 15 — притираемая деталь; 16 — механизм подачи стола

лотники, плунжеры и другие детали распределительных устройств гидро- и пневмоаппаратуры, пробковые (конические) краны и задвижки арматуры, сферические подпятники, опоры и др. Применяют два способа притирки деталей — одной детали по другой (притирка клапанов, пробок и др.) и каждой из деталей по третьей — притиру. С помощью притиров доводят детали гидроаппаратуры, крышки и фланцы в плотных сопряжениях. В зависимости от видов притираемых деталей в качестве притиров могут быть втулки, конусы, плиты, бруски из материала более мягкого, чем материал притираемых деталей.

В условиях многоменклатурного производства наиболее рациональна механизация притирки путем использования универсального металлорежущего оборудования с некоторой его модернизацией и оснащением сменными устройствами и головками для выполнения таких операций.

На рис. 26 показано устройство к вертикально-сверлильному станку 2135 для притирки отверстий диаметром до 100 мм в корпусных деталях гидроаппаратуры. Для обеспечения требуемой точности формы отверстия и сокращения вспомогательного времени на установку и центрирование притираемой детали 15 относительно шпинделя станок оснащен плавающей (самоустанавливающейся) оправкой 13, которая центрируется конусом в шпинделе и поджимается гайкой. Притир 14 посадочным концом устанавливают в гнездо оправки и стопорят кольцом. Для компенсации износа притира на станке предусмотрен механизм подачи стола 16 с отсчетным устройством, который при подъеме стола позволяет производить тонкую подбивку (разжим) притира с точностью вертикальной подачи стола 0,1 мм. Во избежание заедания притира в отверстии детали (при чрезмерном его разжиге) на оправке имеется шариковая предохранитель-



ная муфта, которая настраивается на оптимальную величину крутящего момента, возникающего при притирке.

В процессе притирки деталей была определена наиболее рациональная конструкция чугунного разжимного притира, имеющего эксцентричные кольцевые канавки на наружной поверхности, что обеспечивает наиболее равномерное распределение абразивной пасты на поверхности притира.

При работе на подобных установках рекомендуется применять частоту вращения шпинделя 100 об/мин; скорость возвратно-поступательного движения шпинделя — в пределах 5,5—7,5 м/мин; абразивный порошок — электрокорунд зернистости М28, М20; состав смазывающей жидкости, %: керосин — 45, машинное масло — 45, олеиновая кислота — 10; материал притира — чугун СЧ18, СЧ20.

Для притирки отверстий диаметром до 100 мм применяют аналогичные устройства на базе вертикально-сверлильного станка 2А125 [56].

Наружные цилиндрические поверхности деталей притирают по методу круглой притирки — копирования или по методу бесцентровой притирки — обкатывания. Метод круглой притирки широко применяют при машинно-ручной обработке с использованием доводочных бабок или токарных станков. Притираемую деталь закрепляют в шпинделе станка и получают вращательное движение. Возвратно-поступательное движение притира, выполненного в виде разрезной втулки, вдоль детали и поперечный поджим его осуществляют вручную. При этом достигают высокую точность геометрической формы деталей до 0,5—2 мкм; шероховатость поверхности $Ra=0,02\div0,04$ мкм и $Rz=0,025\div0,1$ мкм [4].

Для бесцентровой доводки деталей типа цилиндрических золотников гидроаппаратуры целесообразно применять универсальный вертикально-доводочный станок (рис. 27). Как показали исследования, погрешности формы после притирки золотников диаметром 25 мм из стали 18ХГТ не превышают 2—3 мкм, а шероховатость поверхности $Ra=0,32\div0,08$ мкм. Для получения шероховатости поверхности $Ra=0,080\div0,040$ мкм необходимо применять окончательную доводку деталей пастой более мелкой зернистости М14 в течение 2—3 мин. Применение абразивных паст из искусственных алмазов АП40, АП14 позволяет повысить производительность притирки закаленных деталей в 1,5—1,8 раза.

На указанном вертикально-доводочном станке можно осуществлять также притирку плоских поверхностей деталей, заменив при этом только сепаратор. На рис. 28 показана схема наладки станка и конструкция специального сепаратора, в котором размещается 48 притираемых деталей (седло клапана гидроаппаратуры). Для обеспечения неповторяемости следа притирки и равномерности износа чугунного притира 5 обрабатываемые

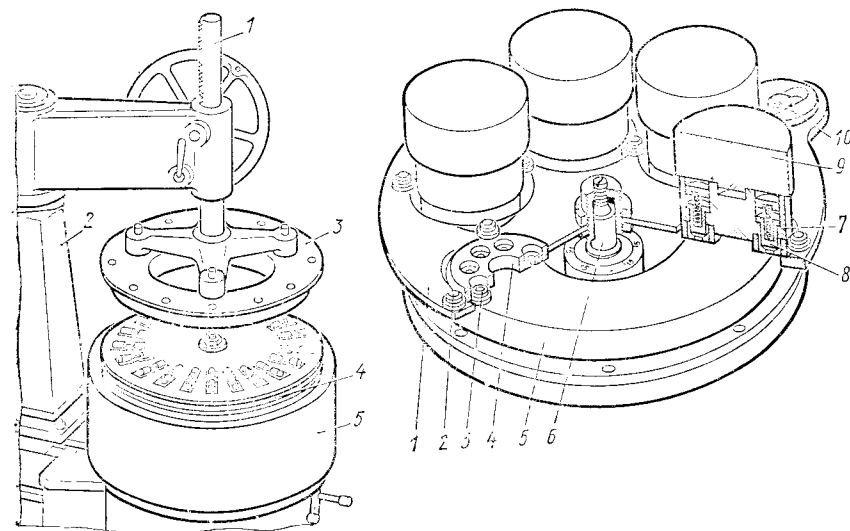


Рис. 27. Вертикально-доводочный станок:

1 — стойка; 2 — механизм подъема притира; 3 — верхний притир; 4 — нижний притир с сепаратором; 5 — станна

Рис. 28. Схема наладки станка для притирки плоских деталей

детали (седла) 3 вместе с сепаратором 1, закрепленным на эксцентрике 6, колеблются в радиальном направлении по отношению к притиру, а также вращаются с юстировочными дисками 4 вокруг их осей, опираясь на поддерживающие ролики 2. Палец 10 стойки удерживает сепаратор от вращательного движения.

С помощью чугунных юстировочных дисков в процессе притирки деталей осуществляется также правка притирочного диска. Необходимая при доводке величина удельного давления деталей на притир обеспечивается с помощью нажимной шайбы 7 с пружинными пальцами 8 и сменных грузов 9. Такое устройство позволяет получить равномерный прижим каждой детали независимо от колебаний ее размера по высоте. Как показали опыты, в результате этого повышается производительность и качество притирки плоских деталей. Общее время притирки 48 седел на станке составляет 8—10 мин. Шероховатость поверхности $Ra=0,160\div0,080$ мкм.

На станке, применяя соответствующую наладку с кассетой, можно осуществлять двустороннюю притирку взаимно параллельных поверхностей деталей. В этом случае верхний и нижний притиры находятся в неподвижном состоянии, а притирку осуществляют за счет эпициклического вращения кассеты относительно своей оси и оси притиров.

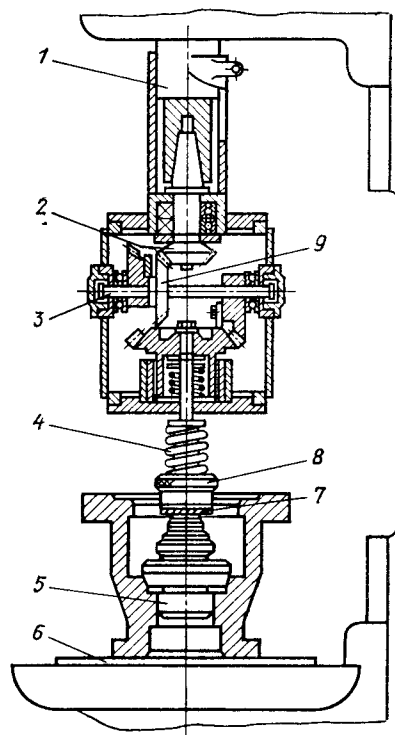


Рис. 29. Головка для притирки конических поверхностей деталей на вертикально-сверлильном станке

Различные конструкции доводочных станков для одно- и двусторонней притирки деталей приведены в работе [4].

Рациональным методом механизации притирки конических сопряжений поверхностей деталей арматуры является применение навесных головок к универсальным сверлильным станкам.

Поверхности деталей малых и средних габаритных размеров (наибольшая высота детали 200 мм, наибольший диаметр притирки до 150 мм) можно притирать на вертикально-сверлильном станке 2А125, снабженном специальной навесной головкой (рис. 29). Головку закрепляют в гильзе 1 шпинделя станка. Обрабатываемую деталь устанавливают в приспособлении

или непосредственно на столе 6 станка и, осуществляя подъем стола, приводят в соприкосновение с чугунным притиром 5. Горизонтальный вал 3 головки через конические колеса 2 и 9 от шпинделя станка получает вращательное движение.

Головка [А. с. № 761240 (СССР)] обеспечивает возвратно-вращательное движение притира на различные углы поворота с помощью зубчатых секторов с различным числом зубьев, расположенных на валу 3, и периодический его отрыв от притираемой поверхности (за счет подпружиненной конической шестерни, соединенной с притиром). Это позволяет выполнить основное условие притирки — неповторяемость следа на притираемой поверхности, обеспечивающего высокое качество притирки. Необходимая сила прижима притира к обрабатываемой поверхности регулируется предварительным сжатием пружины 4 с помощью гайки 7 и резьбовой втулки 8. Головка обеспечивает хорошую работу при 97 об/мин шпинделя, что соответствует 48,5 двойных поворота притира в минуту.

Для притирки крупных деталей, которые по своим габаритным размерам не могут быть установлены на вертикально-сверлильном станке (детали высотой до 600 мм с притиром диамет-

ром до 250 мм), рекомендуются головки аналогичной конструкции к радиально-сверлильным станкам.

Важным условием повышения производительности и качества притирки является выбор оптимальных режимов процесса, особенно для деталей из коррозионностойкой стали марки 1Х18Н9Т, которая вызывает определенные трудности при притирке.

Сопрягаемые пары деталей должны притираться только с помощью притиров, так как при совместной их притирке из-за значительной вязкости стали 1Х18Н9Т имеют место задиры и «схватывание».

Наиболее рациональным составом смазывающей жидкости является смесь из 70—75 % олеиновой кислоты и 30—25 % керосина. При применении этого состава жидкости наблюдается (особенно на мелкозернистых микропорошках М10, М7) более интенсивное удаление с притираемой поверхности отработавшей пасты, меньшее слипание поверхностей, что улучшает условия процесса притирки.

Существенным фактором, определяющим производительность и качество притирки, является давление, создаваемое на притираемой поверхности. Как известно, с повышением давления производительность процесса притирки возрастает. Однако при давлении 0,12—0,15 МПа возникают задиры притираемых поверхностей. Поэтому давление при предварительной притирке не должно превышать 0,1 МПа.

Для обеспечения оптимальных условий доводки деталей из коррозионностойкой стали целесообразно пользоваться режимами, приведенными в работе [26]. Аналогичные рекомендации имеются для притирки деталей из титановых сплавов [5].

При изготовлении засыпных аппаратов доменных печей предъявляют высокие требования к плотности контакта конического сопряжения конуса и чаши. Зазор в сопряжении не должен превышать 0,03 мм по всему периметру контакта. Большие габаритные размеры сопрягаемых деталей (диаметры 4000—5000 мм) и масса свыше 20 т, а также наплавка контактного пояса износостойким материалом типа сормайт не позволяют обеспечить требуемую точность при обработке на металлорежущих станках, которую можно получить только в результате совместной притирки этих крупногабаритных деталей. Для этих целей разработан специальный стенд (рис. 30). Перед началом притирки на контактные поверхности конуса и чаши наносят тонкий слой абразивной пасты (карбид бора с техническим вазелином). С помощью приводов 3 и 5, последовательно входящих своими кулачками в зацепление с зубьями диска 4, притираемому конусу 2 придается возвратно-вращательное движение. При изменении направления вращения конуса с помощью привода 7 осуществляется его периодический отрыв от контактной поверхности чаши, что обеспечивает переориентацию абразив-

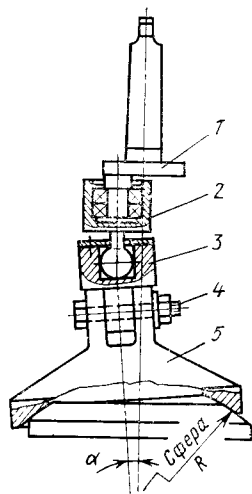
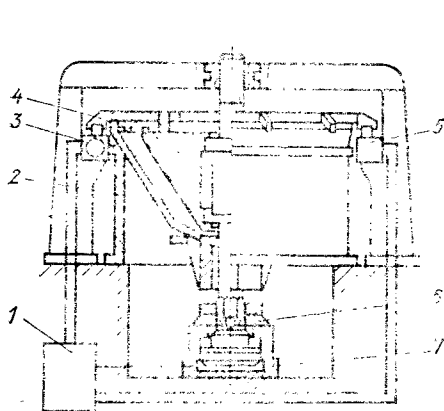


Рис. 30. Стенд для притирки конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей

Рис. 31. Приспособление к сверлильному станку для притирки сферических поверхностей

ных зерен, способствует повышению производительности и уменьшению шероховатости притираемых поверхностей. Управление рабочим циклом стенда осуществляется автоматически с помощью блока питания и управления 1. По мере съема металла с помощью гаек 6 производится периодическое сближение притираемых поверхностей деталей.

Применение стенда обеспечивает получение зазора в контакте конуса и чаши 0,02—0,03 мм; машинное время притирки 6 ч.

Для притирки воздушных и газовых клапанов со сферическими седлами применяют [36] простые по конструкции приспособления к сверлильным станкам (рис. 31). Водило 2 приспособления верхней частью соединено с эксцентриком 1, а нижним сферическим хвостовиком — с сухарем 3, к которому с помощью болта 4 крепят крышку притираемого клапана 5. При вращении эксцентрика от шпинделя станка крышка клапана получает круговые качательные (на угол α) движения, в результате чего происходит притирка седла клапана.

Для увеличения давления при притирке с помощью болта 4 можно закреплять специальные кронштейны для установки соответствующих грузов.

Крупногабаритные сферические детали чаще всего притирают на радиально-сверлильных или карусельных станках.

Подготовка деталей к сборке. Ответственными операциями перед выполнением собственно сборочных работ являются очистка и мойка деталей. Наличие на поверхностях деталей металлической стружки, пыли, абразивного порошка и других загрязнений может явиться причиной преждевременного выхода машины из строя во время эксплуатации.

Очистка деталей и сборочных единиц от слоя антикоррозионной смазки, следов краски и других загрязнений может быть осуществлена механическим путем с помощью ручных и приводных щеток с последующей мойкой и обдувкой сжатым воздухом. Наиболее распространены следующие способы мойки: химический (мойка окунанием и струйная, мойка с применением органических растворителей), электромеханический и ультразвуковой.

Для мойки деталей используют промывочные ванны и шкафы, механизированные баки или моечные машины. В условиях единичного и мелкосерийного производства преимущественно применяют промывочные ванны и шкафы.

В качестве моющей среды применяют 3—5 %-ный раствор кальцинированной соды, нагретой до 80—90 °С, а также специальные щелочные растворы КМ-1, МС-6, лабомид 203 (ТУ 3810738—80) и др. В тех случаях, когда обезжириванию подвергаются детали, имеющие глубокие щели, зазоры или каналы, из которых не могут быть удалены остатки водных растворов при сушке, допускается применять бензин или керосин. В этих случаях дверцы шкафа или бака делают подъемными и снабжают чекой из легкоплавкого металла, чтобы при вспышке жидкости дверцы автоматически закрывались. Кроме этого, рекомендуется применять негорючие моющие средства: перхлорэтилен и трихлорэтилен (ГОСТ 9976—70) и хладон-113 (фреон) по ГОСТ 23844—79. Горючие растворители следует применять лишь тогда, когда другие средства не обеспечивают требований к промывке деталей.

В единичном и мелкосерийном производстве используют также промывочные шкафы без коллекторов и насадок для разбрызгивания моющей жидкости. В этих случаях к шкафу подведены жидкостный и воздушный шланги, присоединенные к специальному крану-пульверизатору. Капли распыленной жидкости с силой ударяются о поверхность детали и промывают ее. Поступление жидкости и воздуха регулируется соответствующими кранами. После промывки можно обдуть деталь сжатым воздухом, выключив при этом подачу жидкости.

При сборке особо точных сопряжений, когда требуется весьма тщательная очистка, применяют электрохимическую мойку [44] в спокойном или принудительно возбуждаемом электролите, а также мойку в жидкой среде при помощи ультразвука.

Важную роль в обеспечении чистоты деталей и сборочных единиц на сборке играет обдувка их сжатым воздухом. Обдувку целесообразно производить перед каждой операцией. Особенно тщательно необходимо продувать отверстия, пазы, канавки, где чаще всего задерживается мелкая стружка, пыль, грязь. Гибкие шланги для обдувки деталей сжатым воздухом обычно оснащают специальными наконечниками с клапанами, а также колпаками-отражателями или специальными устройствами для улавливания вылетающей с большой скоростью стружки из отверстий и углублений обдуваемых деталей, так как в противном случае это может стать причиной травматизма сборщиков.

Завершающей стадией подготовки деталей к сборке является их комплектация и контроль основных сопрягаемых поверхностей. В условиях единичного и мелкосерийного производства эти подготовительные работы являются неотъемлемой частью сборочного процесса.

Сборка резьбовых соединений. В конструкциях современных машин резьбовые соединения составляют 15—20 % общего числа соединений, а трудоемкость их сборки достигает 25—35 % общей трудоемкости сборочных работ.

Процесс сборки резьбового соединения в общем случае состоит из следующих основных элементов: предварительного сопряжения (наживления) резьбовых деталей, заворачивания резьбовых деталей до упора в поверхности собираемых деталей, предварительной затяжки резьбового соединения (обжатия стыка), окончательной затяжки резьбового соединения, контроля затяжки, стопорения резьбовых деталей от самоотвинчивания.

В общем времени сборки соединения на предварительное ввертывание идет 12—17 %, на затяжку 18—20 % и 5—8 % на дотяжку. Как правило, предварительное ввертывание осуществляется вручную даже при механизированной сборке резьбовых соединений. Это объясняется тем, что от качества наживления зависит правильность первоначальной установки одной детали по резьбовому отверстию другой, а также возможность предотвращения срыва первых ниток резьбы при дальнейшем заворачивании. Требуемая особая тщательность наживления вызывает значительные трудности при выполнении ее механизированным способом. После наживления детали время, необходимое на ее завинчивание, определяется скоростью вращения. При этом крутящий момент тратится только на преодоление трения в резьбе. В конце завинчивания происходит затяжка, создающая неподвижность соединения.

В общем случае около 90 % крутящего момента, прилагаемого для затяжки резьбового соединения, расходуется на преодоление трения в соединении (40 % на резьбе и 50 % на других поверхностях) и лишь 10 % приходится на затяжку [68].

Плотность резьбового соединения ввинченных в корпус шпилек, создается за счет натяга, обеспечиваемого коническим сбе-

гом резьбы, упорным буртом или тугой резьбой с натягом по среднему диаметру шпильки. При постановке шпилек необходимо обеспечивать их перпендикулярность к торцовой поверхности детали. При навинчивании гаек следует обращать внимание на перпендикулярность торца к оси резьбы. Гайка должна без качки навинчиваться от руки до места посадки.

В групповом резьбовом соединении гайки затягивают в определенном порядке. Правильно выбранная последовательность затяжки исключает перекосы и деформации деталей. Общий принцип затяжки — сначала затягивают гайки, находящиеся в середине детали, затем попеременно по паре с каждой стороны. Гайки, расположенные по окружности, затягивают крест-накрест. Необходимо затягивать гайки постепенно, т. е. сначала затянуть все гайки примерно на одну треть момента, затем на две трети и, наконец, на полную затяжку.

Собираемость узлов с винтовыми и болтовыми соединениями зависит от фактической величины зазоров между винтом (болтом) и отверстием скрепляемых деталей. В этом случае зазоры в крепежном соединении являются компенсирующими звеньями, значения которых определяются на основе расчета размерных цепей соединений [14].

Для завинчивания винтов, шпилек, гаек и других резьбовых деталей применяют ручной и механизированный инструмент. К ручному инструменту обычно относят гаечные ключи и отвертки, а к механизированному — электрические, пневматические или гидравлические переносные и стационарные гайковерты и устройства.

Конструкция и вид применяемого инструмента в значительной мере определяют производительность и качество сборки резьбовых соединений. Наиболее эффективным является механизированный инструмент. Однако на заводах единичного и мелкосерийного производства широкое применение находит также и обычный ручной инструмент (ключи, отвертки и др.). Применяются также различные конструкции специальных ключей для завинчивания шпилек, резьбовых втулок, шарнирные ключи для завинчивания гаек в труднодоступных местах, ключи-коловороты и др. [44].

Контроль затяжки резьбовых соединений. Надежность и долговечность работы резьбовых соединений в значительной мере определяются правильностью их затяжки в процессе сборки. В технических требованиях на сборку ответственных резьбовых соединений указываются предельные значения крутящего момента, с которым должны быть затянуты гайки или винты. Поэтому обеспечение требуемой затяжки резьбовых соединений в таких случаях является весьма ответственной частью технологического процесса сборки машин.

Регламентируемые моменты затяжки при сборке резьбовых соединений обычно устанавливаются в зависимости от номи-

нального диаметра резьбы с учетом материалов, из которых изготовлены крепежные детали. Простейшим способом ограничения крутящего момента при затяжке резьбовых соединений является выбор соответствующей длины ключа. Но учитывая, что усилие руки в процессе работы даже у одного и того же сборщика может изменяться в сравнительно широких пределах, это будет сказываться на равномерности затяжки. Поэтому этот способ можно применять только в тех случаях, когда необходимо ограничить наибольший крутящий момент при максимальном усилии рабочего.

Сложность достижения равномерной затяжки всех крепежных элементов резьбового соединения обусловлена трудностями измерения действительной величины возникающей и изменяющейся в их стержнях осевой силы. В производственных условиях обычно используют один из трех методов, позволяющих во время затяжки болта косвенно определить величину возникающей в его стержне осевой силы: фиксацию величины крутящего момента, прикладываемого к гайке, фиксацию угла поворота гайки от начального положения, измерение удлинения болта.

В практике машиностроения наиболее распространен контроль затяжки болтовых соединений по измерению крутящего момента с помощью предельных и динамометрических ключей. В этих случаях обычно используют следующую зависимость между силой затяжки болта P_3 и крутящим моментом M_3 на гайке:

$$P_3 = \frac{M_3}{\frac{d_2 (\operatorname{tg} \beta + f_p)}{2 (1 - f_p \operatorname{tg} \beta)} + \frac{f_T (D^3 - d_0^3)}{3 (D^2 - d_0^2)}},$$

где d_2 — средний диаметр резьбы; D и d_0 — соответственно наружный и внутренний диаметры опорной поверхности гайки; β — угол подъема винтовой линии; f_p и f_T — соответственно приведенные коэффициенты трения в резьбе и на опорной поверхности гайки.

Наибольшее влияние на точность затяжки в этом случае оказывают коэффициенты трения в резьбе и на торце гайки, так как они зависят от многих факторов (качества поверхности трущихся элементов, класса точности, способа изготовления, смазывающего материала, характера покрытия резьбы и др.). Существенное влияние оказывает также перекося торца гайки относительно оси резьбы.

Результаты экспериментальных исследований [15] при затяжке резьбовых соединений М72×6 и М85×6 с определенным крутящим моментом при изменяющихся условиях трущихся элементов для сухой и смазанной резьбы показали, что коэффициенты трения в резьбе и на опорной поверхности гайки изменялись в значительных пределах: $f_p = 0,2 \div 0,4$ и $f_T = 0,08 \div 0,12$.

При этом установлено, что введение графитовой смазки на трущиеся поверхности снижает коэффициент трения на 10—25 %, предотвращает заедание и стабилизирует значения коэффициента трения. Причем коэффициент трения как при сухой, так и при смазанной резьбе по мере возрастания силы затяжки снижается.

В применяемых на сборке предельных ключах в большинстве случаев используют кулачковые подпружиненные муфты, автоматически выключающиеся при достижении определенного момента затяжки резьбового соединения. Предельные ключи не обеспечивают высокую точность затяжки, но они просты по конструкции, надежны в эксплуатации и поэтому находят широкое применение.

В динамометрических ключах величина прикладываемого момента фиксируется по изгибу упругого стержня, имеющего шкалу и ручку. Стрелка, относительно которой поворачивается шкала, расположена на другом стержне, не подвергающемся силе изгиба. Разновидностью конструкций динамометрических ключей является торсионный ключ, в котором величина крутящего момента определяется по углу закручивания упругого стержня. Угол отсчитывается по шкале с помощью стрелки. Такие ключи позволяют обеспечить затяжку с большей точностью, чем ключи других конструкций.

Требуемая величина затяжки может быть более точно выдержана, если гайку после соприкосновения стыковых плоскостей соединения дополнительно повернуть на определенный угол. При сборке соединений этим методом гайку вначале затягивают обычным ключом, создавая за счет некоторого сглаживания шероховатости на поверхности резьбы и плоскостях сопрягаемых деталей большую плотность в стыках. После этого гайку отвинчивают на два-три витка и вновь навинчивают до соприкосновения ее торца с опорной плоскостью. Затем гайку поворачивают на установленный угол, контролируемый с помощью градуированного диска со стрелкой. Диск фиксируется относительно болта, что исключает погрешность, связанную с его скручиванием.

Угол поворота гайки φ с требуемой силой затяжки Q_3 связан следующей зависимостью:

$$\varphi = 360 \frac{Q_3 L}{P} \left(\frac{1}{E_b F_b} + \frac{1}{E_q F_q} \right),$$

где L — длина болта или шпильки между опорными плоскостями; P — шаг резьбы; F_b , F_q — соответственно площади сечений болта (шпильки) и скрепляемых деталей (условного цилиндра); E_b , E_q — соответственно модули упругости материала болта (шпильки) и скрепляемых деталей.

Затяжка с контролем удлинения резьбового стержня является наиболее точной и применяется при сборке особо ответственных

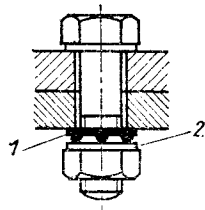


Рис. 32. Крепежные детали с индикаторами затяжки

ных соединений (стяжных болтов коленчатых валов, шпилек крепления дисков турбин и др.). В этом случае измеряется удлинение болта λ_3 контрольными приборами:

$$\lambda_3 = \frac{Q_3 L}{E_6 F_6}.$$

Выбор способа затяжки резьбовых соединений зависит от точности, которую по конструктивным требованиям необходимо обеспечить в процессе сборки. Из рассмотренных выше методов затяжки наиболее точным является метод, основанный на измерении удлинения болта. Его целесообразно использовать при соотношении длины болта к его диаметру более 10. Точность затяжки резьбовых соединений можно повысить за счет применения комбинированного метода. В этом случае затяжку производят в два этапа; вначале при определенном крутящем моменте (динамометрическим или предельным ключом), а затем довертывание гайки с измерением угла ее поворота.

В зарубежной практике для контроля затяжки резьбовых соединений применяют также специальные крепежные детали со встроенными индикаторами. На рис. 32 показано резьбовое соединение с индикаторной шайбой 1, выполненной из закаленной стали и снабженной с одной стороны выступами. При затяжке выступы индикаторной шайбы упираются в обычную шайбу 2, расплющиваются и заполняют зазор между шайбами. При определенной заданной величине начального зазора резьбовое соединение получает требуемый момент затяжки.

Применяют также крепежные болты, гайки и шайбы, выполненные в виде сопряженных по конусной поверхности пробки и втулки. Глубина посадки пробки зависит от силы, действующей на болт. По этой глубине на основе предварительной тарировки крепежных элементов определяется затяжка резьбового соединения.

Аналогичные конструкции болтовых соединений с упругими элементами, выполненными в виде концентричных шайб с коническими сопрягаемыми поверхностями, применяются в отечественном машиностроении [6]. Величина силы затяжки резьбы при этом определяется по изменению наружного диаметра охватывающей шайбы.

Преимущество этих способов заключается в отсутствии необходимости применять специальные устройства для измерения величины затяжки резьбовых соединений.

Механизация сборки резьбовых соединений. Для механизации сборки резьбовых соединений применяют различные конструкции гайко- и винтозавертывающих машин и устройства преимущественно с электрическим и пневматическим приводом.

Это позволяет повысить производительность труда в 2—3 раза. Срок окупаемости таких средств механизации не превышает полутора лет.

Важной технической характеристикой инструмента для сборки резьбовых соединений является так называемая относительная неравномерность затяжки, представляющая собой максимальные отклонения величины затяжки от ее среднего значения в большую и меньшую стороны. Этот параметр зависит от способа передачи крутящего момента на шпиндель инструмента и завинчиваемую деталь резьбового соединения. По этому признаку различают гайковерты с муфтами прямого привода, с ударно-импульсными и предельными муфтами.

Величина крутящего момента в инструментах с муфтами прямого привода зависит от давления питающего воздуха, гидравлической среды или от мощности электродвигателя. При полной затяжке соединения двигатель останавливается. Такие инструменты имеют значительную неравномерность затяжки ($\pm 20 \div 35\%$), поэтому их применяют при сборке соединений, не требующих высокой точности затяжки.

Гайковерты с ударно-импульсными муфтами обеспечивают передачу крутящего момента в процессе затяжки винта или гайки с помощью ударных импульсов, сообщаемых ведомой полумуфте. Практическое отсутствие реактивного момента при работе ударных гайковертов позволяет применять их для сборки соединений больших размеров. Точность затяжки находится в пределах $\pm 20 \div 25\%$. Ударные гайковерты используют при моментах затяжки свыше 50 Н·м [10]. В сопоставлении с гайковертами вращательного действия в ударных гайковертах используют приводные двигатели меньшей мощности, что позволяет создавать легкие и портативные машины. Вместе с тем ударные гайковерты имеют более низкую долговечность, а также повышенный уровень вибрации и шума при их работе.

Большинство выпускаемых конструкций гайковертов отечественного (ИЭ3113, ИЭ3114А, ИЭ3116, ИЭ3117) и зарубежного производства имеют высокую частоту ударов (от 16 до 40 ударов в секунду) и обеспечивают в резьбовых соединениях диаметром до 16 мм момент затяжки до 120 Н·м. Указанные гайковерты в результате применения виброгасящих элементов имеют пониженный уровень вибрации, соответствующий ГОСТ 17770—72. Их целесообразно использовать для сборки резьбовых соединений небольших размеров, когда не требуется высокая точность получения усилия затяжки.

Кроме этого, в отечественном производстве освоен также выпуск гайковертов с низкой частотой ударов (до трех ударов в секунду), так называемые редкоударные гайковерты (ИЭ3112, ИЭ3115, ИЭ3115А, ИЭ3118), которые позволяют осуществлять процесс затяжки за 4—15 ударов с большой энергией, практически не уменьшающейся в каждом ударе. Эти гайковерты в сопо-

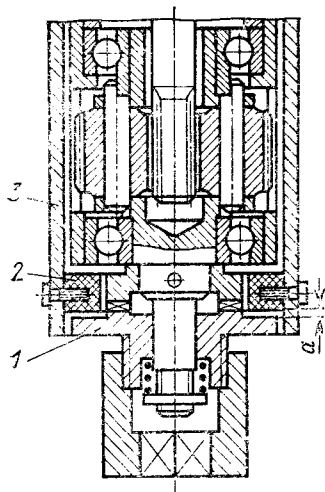


Рис. 33. Предельная муфта гайковерта

ставлении с другими гайковертами имеют большую энергоемкость (в 10 раз), меньшую массу (на 20—40 %), требуют меньшей мощности двигателя (на 15—30 %) и имеют более высокий КПД (в 2—5 раз). Благодаря стабильности энергии каждого удара редкоударные гайковерты позволяют выполнять тарированную затяжку резьбовых соединений и могут быть использованы в более широком диапазоне резьб. Наибольший момент затяжки, обеспечиваемый гайковертом ИЭ3112, равен 2100 Н·м, а у ос-

талльных моделей — 700 Н·м. Масса гайковертов составляет соответственно 12,5 и 5 кг [10].

Высокую точность затяжки (± 8 —15 %) обеспечивают гайковерты с предельными муфтами, отключающими привод при достижении в резьбовом соединении требуемой величины затяжки. Обычно используют ограничительные кулачковые или электромагнитные муфты, настраиваемые заранее на определенную величину передаваемого крутящего момента. На рис. 33 показана одна из конструкций предельной муфты. Она выполнена в виде кулачковой муфты, одна из полумуфт 1 которой является якорем. В корпусе гайковерта 3 закреплен винтами индукционный датчик 2. Необходимый зазор a между датчиком и якорем регулируется поворотом датчика в пазах, выполненных в корпусе гайковерта. При достижении заданного крутящего момента полумуфта кулачковой муфты получит осевое смещение и увеличит зазор a . При этом индукционный датчик выдает сигнал на остановку гайковерта.

Наряду с электрическими производят и пневматические ударные гайковерты (ИП3101, ИП3112, ИП3107, ИП3106, ИП3204) для затяжки резьбовых соединений с наибольшими диаметрами от 12 до 16 мм. Пневматические ударные гайковерты моделей ГПР-10, ГПР-14, ГПР-18, ГПР-30 обеспечивают затяжку резьбовых соединений диаметром соответственно от 10 до 30 мм. Пневматические гайковерты имеют меньшую массу и габаритные размеры в сопоставлении с электрическими, вместе с тем КПД пневматического двигателя значительно меньше, чем электрического. Кроме того, они обладают повышенным уровнем шума. Для устранения этого недостатка в некоторых случаях гайковерты оборудуют малогабаритными глушителями шума [54].

При сборке крупных машин часто возникают трудности в механизации затяжки резьбовых соединений. Имеются в виду большие размеры резьбовых соединений (М42 и более), а также расположение их в труднодоступных местах, что не дает возможности использовать серийно выпускаемые гайковерты. В таких случаях возникает необходимость в разработке специализированных средств механизации, обеспечивающих затяжку резьбовых соединений с большим крутящим моментом. В частности, при сборке железнодорожных цистерн (рис. 34, а) ее котел 1 закрепляют к платформе 4 стяжными хомутами 2 с помощью резьбовых муфт 3 (момент затяжки 1000 Н·м).

Для механизации этой операции разработан [16] гайковерт с ударно-импульсным механизмом (рис. 34, б), состоящий из пневмодвигателя 1, на вал ротора которого насажен ударно-импульсный механизм 2. Выходной вал 3 гайковерта соединен с помощью муфты 4 с первичным валом 5 головки, на котором установлена шестерня 6, передающая через паразитные шестерни 8, смонтированные на валике 7, вращение на шестерню 9, размещенную в подшипниках корпуса головки 10. В шестерне 9 выполнен внутренний шестигранник с зевом для захвата разбойной муфты хомута цистерны. Корпус головки 10 имеет аналогичный зев. Головка соединяется стаканом 11 с корпусом гайковерта 12, на котором размещены органы управления: переключатель режима работы 13 (на четыре положения), рукоятка 14 с краном подачи воздуха в полость пневмодвигателя от сети сжатого воздуха давлением 0,5 МПа.

В процессе сборки гайковерт подвешен на специальной пружинной подвеске. Испытания гайковерта показали, что он стабильно развивает максимальный крутящий момент 1100 Н·м. Компактность конструкции гайковерта обеспечивает возможность затяжки муфт, расположенных в труднодоступном месте цистерны.

На ПО «Уралмаш» для затяжки с большим крутящим моментом круглых гаек на конусах дробилок крупного дробления применяют специальные устройства с гидроприводом. Устройство (рис. 35), состоящее из подвижной обоймы 3 и неподвижной траверсы 1 с закрепленными на них двумя гидроцилиндрами 4, устанавливают на накрученную и предварительно затянутую гайку 11 и центрируют винтами 2 на валу дробящего конуса. Зубчатую поверхность упоров 8, установленных на обойме 3, подводят к гайке 11 и фиксируют винтами 10. Масло под давлением 20 МПа от насосной станции 7 подают в штоковую полость цилиндров 4, в результате чего происходит поворот обоймы. При этом упоры 8 поворачиваются вокруг оси 9 и вращают гайку 11 в направлении, противоположном вращению обоймы 3. Силу затяжки контролируют по манометру 6. После затяжки штоки цилиндров возвращают в первоначальное положение с помощью золотникового распределителя 5. При этом обойма 3

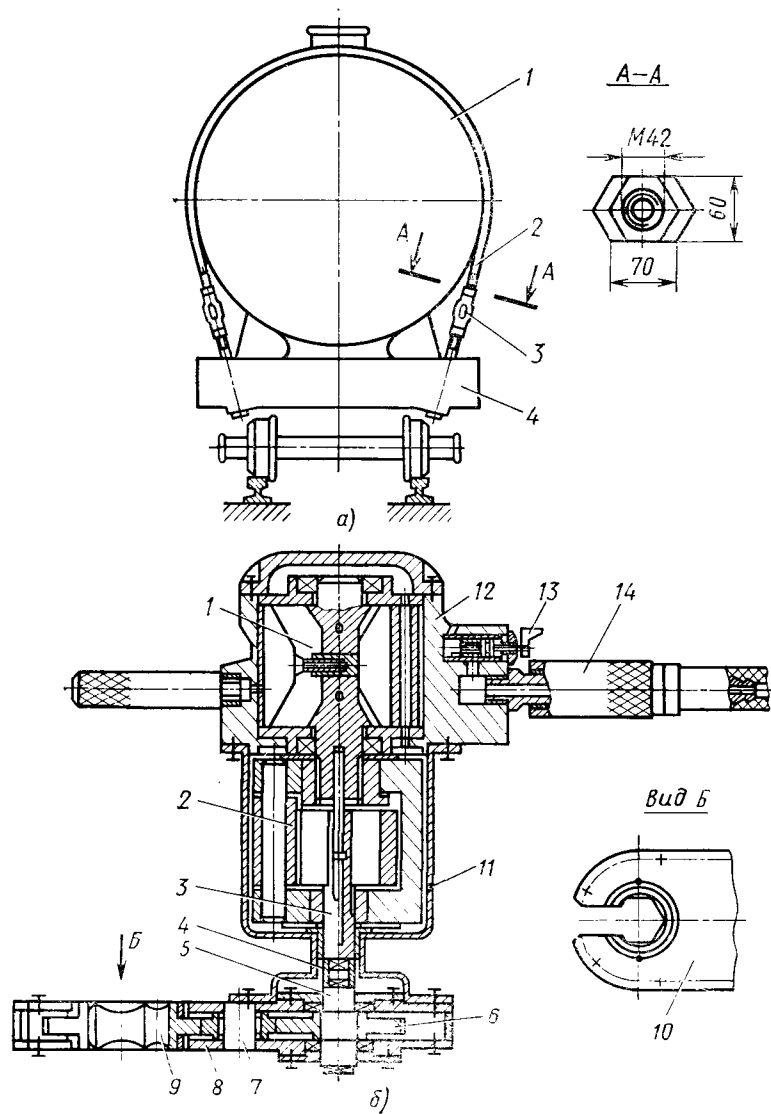


Рис. 34. Крепление цистерны стяжными хомутами (а) и гайковерт для их затяжки (б)

разворачивается и упоры 8 освобождаются. После этого приспособление снимают. Устройство обеспечивает максимальный крутящий момент 700 кН·м.

На рис. 36 показана конструкция пневматического гайковерта для затяжки резьбовых соединений большого диаметра [8].

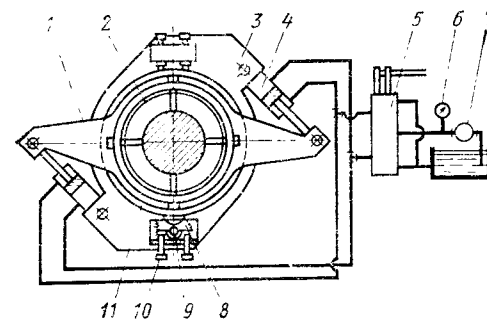


Рис. 35. Устройство для затяжки круглых гаек

Он состоит из основания 1, к которому шарнирно прикреплен силовой пневмоцилиндр 2, поддерживаемый в горизонтальном положении упором. В отверстие штока 6 пневмоцилиндра вставлена сменная штанга 7, закрепленная штырем 5.

Рычажный ключ-трещотка 10 своим концом соединяется шарнирно со сменной штангой быстросъемным пальцем 8. В шестигранное отверстие ключа 10 вставляется сменный торцовый

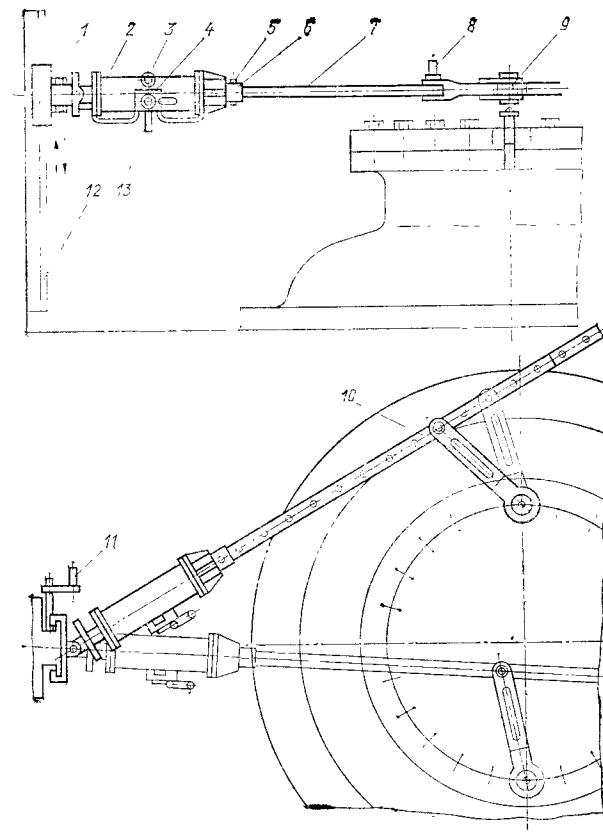


Рис. 36. Гайковерт для затяжки резьбовых соединений большого диаметра

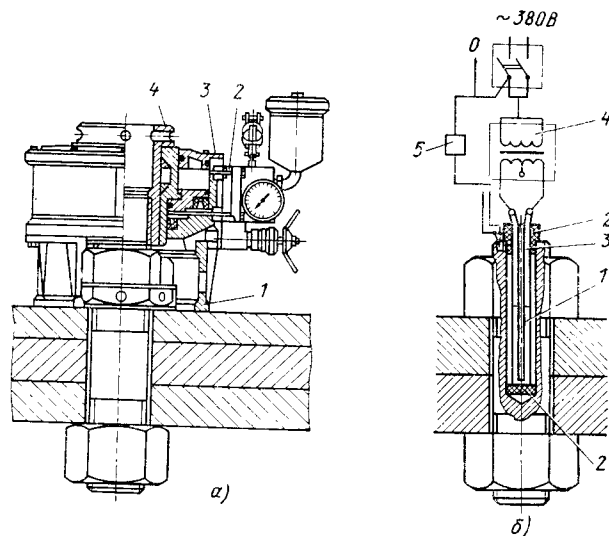


Рис. 37. Устройства для предварительного растяжения стержня болта при сборке резьбовых соединений большого диаметра:

а — гидравлический домкрат; *б* — электрический нагреватель; 1 — нагревательный элемент; 2 — изоляционные направляющие втулки; 3 — контактные пластины; 4 — трансформатор; 5 — термopа с потенциометром

ключ 9, которым производят затяжку или свинчивание болтов и гаек. На корпусе пневмоцилиндра смонтированы воздухораспределитель 4 с рукояткой управления, регулятор давления воздуха 13 и прибор 3, показывающий величину крутящего момента. Основание гайковерта смонтировано на направляющих стойки 12 и с помощью рукоятки 11 может устанавливаться по высоте в нужном положении для сборки резьбовых соединений.

После затяжки одной гайки ключ 10 переустанавливают на другую, а при необходимости конец рычага ключа соединяют с другим отверстием на штанге. При этом корпус гайковерта не перемещают от одного затягиваемого резьбового элемента к следующему, а только поворачивают на оси шарнира в горизонтальной плоскости на необходимый угол. При диаметре поршня пневмоцилиндра 200 мм и давлении воздуха в магистрали 0,5 МПа гайковерт развивает крутящий момент до 1000 Н·м с рычажным ключом длиной 600 мм.

Для осуществления процесса сборки крупных резьбовых соединений путем механического растяжения стержня болта в пределах упругой деформации с последующим свободным доворачиванием гайки в большинстве случаев используют различные специальные гидравлические домкраты и устройства.

Одна из конструкций гидравлического домкрата приведена на рис. 37, *а* [8]. Растяжение стержня болта осуществляется с

помощью ручного насоса 2, силового гидроцилиндра 3 и сменной муфты-тяги 4, навинченной на выступающую часть болта. В нижней части корпуса домкрата 1 имеются окна, позволяющие поворачивать гайку после растяжения болта. Поршень цилиндра имеет сквозное центральное отверстие для соединения с муфтой и установки прибора для измерения удлинения. Данный способ сборки удобен тем, что его можно применять для соединений, расположенных в труднодоступных местах, а также для одновременной затяжки группы резьбовых соединений. Однако этот способ затяжки может быть применен при наличии у болта 8—10 свободных витков резьбы поверх накрутой гайки, что следует предусматривать при проектировании машин.

В конструкциях ряда крупных машин (мощные гидравлические прессы, стационарные дизели и др.) применяются стяжные болты с большим диаметром резьбы, при затяжке которых требуется приложение значительных крутящих моментов. Зачастую по конструктивным или технологическим условиям не удается использовать гидравлический метод растягивания болтов. В этих случаях применяют термический способ затяжки. Необходимая сила затяжки P_3 обеспечивается удлинением болта за счет предварительного его нагрева на величину $\lambda_t = \lambda_3$.

Температура нагрева определяется из следующего соотношения:

$$\Delta t = \frac{\lambda_t}{k_\alpha L_H},$$

где k_α — коэффициент линейного расширения материала болта; L_H — длина нагреваемой части болта.

Для применения этого способа конструкцией стержня соединения должно быть предусмотрено осевое отверстие для установки парового, газового или электрического нагревателя. Наиболее эффективны электрические нагреватели (рис. 37, *б*). Нагрев контролируют измерением удлинения болта. После нагрева гайку затягивают обычным ключом.

Стопорение резьбовых соединений. Стопорение является одной из основных конструктивных мер борьбы с самоотвинчиванием резьбовых крепежных деталей в процессе эксплуатации машины. Наиболее распространены следующие способы стопорения резьбовых соединений: созданием дополнительных сил трения путем осевого или радиального давления (стопорение контргайкой, винтом, самостопорящимися гайками); взаимной фиксацией гайки относительно болта (стопорение шплинтом, пружинными и деформируемыми шайбами, проволокой); посредством местных пластических деформаций (обжатием, кернением).

В ряде случаев применяют обжимные гайки с буртиками, которые после окончания затяжки обжимают специальным ключом с закаленными губками так, что металл резьбовой части гайки плотно охватывает резьбу болта. Специальная метка на

гайке указывает на окончание смещения буртиков и процесса обжатия. Такие гайки не требуют после обжатия проверки, их применение экономичнее по сравнению с другими методами стопорения, например, контргайками. Известны также самостопорящиеся гайки с пластмассовой вставкой.

Широкое распространение получил метод стопорения и уплотнения резьбовых соединений с помощью анаэробных клеев. Клей выпускают в виде миниатюрных капсул, наполненных специальной жидкостью и напоминающих грубый порошок. В процессе свинчивания резьбовых деталей капсулы разрушаются, жидкость вытекает из капсул и образует с ними клей, обеспечивающий прочное крепление резьбовых соединений. Клей отверждается при комнатной температуре. Соединенные клеем детали могут быть разобраны без их повреждения обычным инструментом и вновь использоваться. Металлические поверхности, соединяемые клеем, не требуют специальной предварительной обработки. По данным ряда зарубежных фирм, применение анаэробных клеев экономичнее других методов стопорения резьбовых соединений. При этом клей защищает от коррозии поверхности резьбовых соединений, является стойким к воздействию химических продуктов, выдерживает температуры от -50 до $+150^\circ\text{C}$.

Сборка прессовых соединений. При изготовлении машин сборка прессовых соединений деталей занимает важное место. От качества выполнения этих соединений зависит работоспособность многих механизмов и машин. В общем объеме сборочных работ запрессовочные операции составляют $10\text{--}15\%$. По способу получения нормальных напряжений на сопрягаемых поверхностях соединения с гарантированным натягом условно разделяют на продольно-прессовые и поперечно-прессовые.

При продольно-прессовом соединении охватываемая деталь запрессовывается в охватывающую в продольном (осевом) направлении с натягом, в результате которого в соединении возникают силы трения, обеспечивающие неподвижность деталей. В поперечно-прессовых соединениях сближение сопрягаемых поверхностей происходит радиально (нормально) к поверхности. Такие соединения обычно осуществляют нагреванием охватываемой детали или охлаждением охватываемой детали перед сборкой.

В единичном и мелкосерийном производстве при сборке различных изделий широко применяют оба способа формирования прессовых сопряжений деталей.

Сборка продольно-прессовых соединений. Прочность соединения и сила запрессовки зависят от величины натяга. Наибольшая сила запрессовки P_3 , необходимая для сборки продольно-прессового соединения

$$P_3 = f \pi d p L,$$

где f — коэффициент трения при запрессовке; d — номинальный диаметр поверхности сопряжения; L — длина запрессовки; p — давление на контактной поверхности.

Величину p рассчитывают по формуле

$$p = \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}},$$

где δ — расчетный натяг; $c_1 = \frac{d_2^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1$ и $c_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d^2 - d^2} + \mu_2$

E_1 и E_2 — модули упругости материалов охватываемой и охватывающей деталей; μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона соответственно для тех же материалов; d_2 — диаметр наружной поверхности охватывающей детали; d_1 — диаметр центрального отверстия охватываемой детали. Для вала без отверстия $d_1 = 0$ и $c_1 = 1 - \mu_1$.

Коэффициенты трения при запрессовке зависят от материала сопрягаемых деталей, шероховатости поверхности контакта, величины давления p , наличия смазывающего материала и характера смазывания в сопряжении.

Для обеспечения качественных соединений контактные поверхности деталей перед сборкой должны быть тщательно промыты и протерты, на них не должно быть забоя и заусенцев. Проверяется и зачищается также заходный конус на охватываемой детали (вал, втулка), величина которого принимается $7\text{--}10^\circ$. Это способствует лучшему направлению деталей во время запрессовки. Перед запрессовкой измеряют диаметры сопрягаемых деталей. При сборке одинаковых соединений следует производить подбор деталей по оптимальным натягам, гарантирующим получение более прочных сопряжений.

Поверхности деталей перед запрессовкой покрывают смазочным материалом (обычно машинными маслами) для избежания задиров и облегчения запрессовки. При сборке прессовых сопряжений с большими натягами хорошие результаты (уменьшение силы запрессовки до 30% , устранение задиров и вибраций преса) достигают при применении дисульфидмолибденовой смазки в виде порошка или пасты. Коэффициент трения с использованием этого смазочного материала значительно снижается.

При выполнении процесса сборки прессовых сопряжений ведется контроль за силой запрессовки по давлению масла или воздуха в цилиндре преса или устройства. В ответственных сопряжениях (например, при запрессовке вагонных колес на оси) силу запрессовки контролируют самопишущими приборами, вычерчивающими диаграмму зависимости силы запрессовки от длины запрессовываемой детали.

Выбор методов и средств механизации сборки прессовых соединений зависит от различных факторов: габаритных размеров, массы, материала и конструктивных особенностей сопрягаемых деталей, характера производства, его технических возможностей.

Запрессовка небольших деталей (штифты, втулки, стаканы, пальцы и т. п.) в единичном и мелкосерийном производстве чаще всего производится с помощью ударного воздействия молотка или с применением ручных прессов. Такой способ запрессовки используется в основном в тех случаях, где не требуется больших усилий запрессовки. При запрессовке деталей в труднодоступных местах применяют различного рода винтовые приспособления, скобы, домкраты, трубки и др. Для избежания возможных перекосов при запрессовке используют различные приспособления, обеспечивающие направление сопрягаемых деталей (направляющие стойки, втулки, оправки и т. п.).

Для механизации процесса запрессовки различных деталей сравнительно небольших габаритных размеров широко применяют переносные или стационарные прессы и устройства преимущественно с гидро- и пневмоприводом. При запрессовке крупных валов, осей, цапф и других деталей, требующих значительных усилий при формировании посадки, используют мощные гидравлические прессы вертикального или горизонтального типа.

Значительные трудности возникают при запрессовке крупных болтов, штифтов, втулок, стаканов в корпусные детали, когда из-за больших их габаритных размеров, массы или конструктивных особенностей нельзя использовать стационарные прессы или установки. В этих случаях целесообразно применять переносные скобы и другие прессующие устройства с гидро- и пневмоприводом. На рис. 38 показана переносная скоба с гидроприводом, разработанная и внедренная НИИПТмашем. Она состоит из силового гидроцилиндра 1, смонтированного в корпусе 2 скобы, и насосной станции (на рисунке не показана). Запрессовываемый болт (штифт) 3 вставляют в отверстие детали 4, включают насосную станцию и осуществляют запрессовку с помощью гидроцилиндра скобы, подвешенной на консольном подвешивателе. Сила, развиваемая гидроцилиндром скобы, 35 тс; максимальная длина запрессовываемых деталей 350 мм.

Заслуживает внимания конструктивное исполнение посадок крупных шкивов, маховиков или шестерен на вал, обеспечивающих их сборку с гидравлической подпрессовкой без использования дорогостоящего прессового оборудования.

С двух сторон на коническом участке вала 4 (рис. 39) накручивают гайки 3 и 7, имеющие кольцевые выточки, в которых размещены резиновые уплотняющие кольца 5 и 6. В начале сборки на вал накручивается большая гайка 3, после чего на его конический участок насаживается шкив 1, а затем накручивается гайка 7. После этого в резьбовое отверстие гайки 7 ввертывается штуцер 8 шланга насоса и нагнетается масло. Под

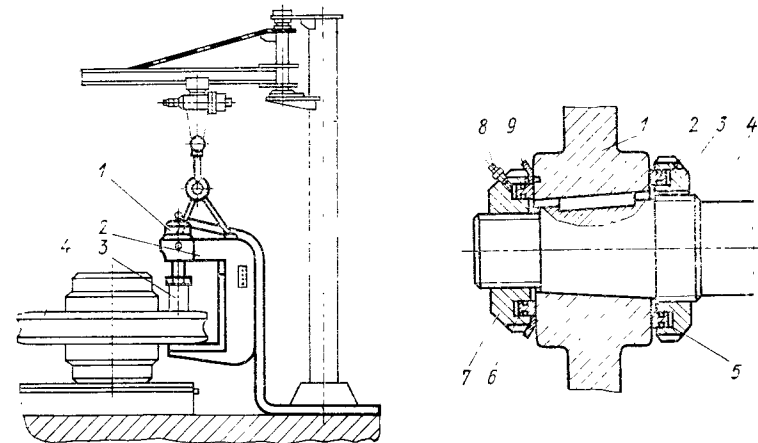


Рис. 38. Гидравлическая скоба для запрессовки деталей

Рис. 39. Посадка крупных шкивов на вал методом гидроподпрессовывания

давлением масла кольцо 6 начинает работать как поршень и при перемещении в сторону шкива напрессовывает его до окончательного положения. После этого гайки 7 и 3 закручивают до упора в торцы ступицы шкива и стопорят с помощью шайбы с отгибным усиком 9. При демонтаже шкива необходимо отвернуть гайку с вала, а к резьбовому отверстию 2 гайки 3 подключить штуцер шланга насоса и распрессовать шкив с вала.

Данный метод можно применять и при посадке маховиков, шкивов или шестерен на цилиндрический участок вала.

Сборка поперечно-прессовых соединений. Сборку с нагревом охватывающей детали чаще всего применяют для тяжелонагруженных соединений с большими натягами, а также в тех случаях, когда запрессовка с помощью прессов и других устройств невозможна или затруднена. Вместе с тем этот способ используют и при сравнительно небольших натягах (например, посадка подшипников качения), что облегчает процесс сборки таких соединений и предотвращает поверхности сопрягаемых деталей от задиров.

Прочность прессовых соединений, собираемых с предварительным нагревом, в 2—3 раза выше прочности прессовых соединений, сборку которых осуществляют с приложением осевой силы.

Наиболее распространены следующие способы нагрева деталей: газовой горелкой, в нагревательных печах, в масляных ваннах, электрическим током по методу сопротивления или индукции. Температура нагрева охватывающей детали для осуществления прессового сопряжения определяется из условия

$$\delta < K_{\alpha} t d,$$

где δ — натяг в сопряжении, мм; K_{α} — коэффициент линейного расширения материала детали; t — температура нагрева детали, °C; d — диаметр отверстия охватываемой детали, мм.

Учитывая, что изменение натяга подчиняется зависимости $\delta = 0,015 + 0,001d$, минимальная температура нагрева, °C

$$t = \frac{1}{K_{\alpha}} \left(\frac{0,015}{d} + 0,001 \right).$$

Подсчитанная по этой зависимости температура нагрева детали обычно увеличивается на 20—30%, что компенсирует частичное охлаждение детали в процессе ее установки перед запрессовкой.

Производительность труда и качество прессового соединения, собранного тепловым методом, в значительной мере зависят от способа нагрева охватываемой детали. Часто детали нагревают в газовых или электрических печах. Этот способ нагрева по сравнению с нагревом газовыми горелками имеет ряд преимуществ: равномерность нагрева деталей, возможность точного контроля температуры нагрева, одновременный нагрев нескольких деталей.

Значительное распространение на заводах тяжелого машиностроения получили установки для индукционного нагрева (индукторы) крупных деталей кольцевой формы, отличающиеся большой производительностью и малыми затратами энергии по сравнению с другими методами. Индуктор представляет собой трансформатор переменного тока, на один из сердечников которого намотана первичная катушка, а на второй (съёмный) надет нагреваемая деталь. Замкнутый контур второго сердечника является витком вторичной обмотки. Обмотки катушек включены параллельно для равномерного распределения магнитного потока в стержнях. Питание обмотки первичной катушки осуществляется от сети переменного тока напряжением 380 В через повышающий автотрансформатор до 500 В. Нагрев детали регулируется изменением силы тока в обмотке индуктора.

Внедрению тепловых методов сборки прессовых сопряжений деталей в различных отраслях машиностроения в значительной мере способствовали созданные Украинским заочным политехническим институтом (УЗПИ) компактные индукционно-нагревательные установки с замыкающим магнитопроводом, которые характеризуются высокими технико-экономическими показателями. При этом нагреваемая деталь является составной частью магнитопровода. В таких установках индукционного типа генерация тепла происходит непосредственно в нагреваемой детали, что позволяет ускорить процесс нагрева и регулировать его скорость в широких пределах. Индукторы, выполненные в виде цилиндрической катушки с магнитопроводящей системой, работа-

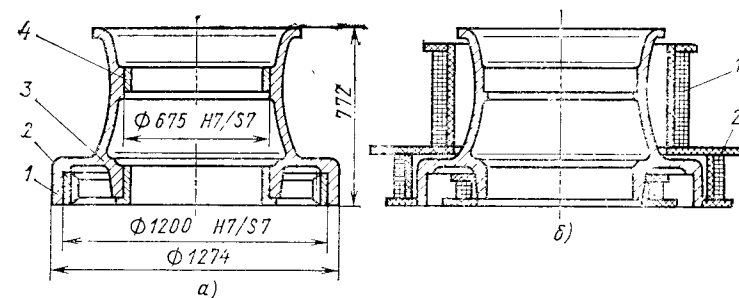


Рис. 40. Узел швартового барабана (а) и схема его индукционного нагрева (б) для тепловой сборки прессовых соединений

ют на токах промышленной частоты непосредственно от силовой сети переменного тока.

На рис. 40, а показан крупногабаритный узел швартового барабана 1, который сопрягается с втулками скольжения 3, 4 и зубчатым венцом 2 по посадке с гарантированным натягом. Сборка этих соединений на прессе весьма затруднена из-за значительных габаритных размеров барабана, а также сложности установки и базирования сопрягаемых деталей.

Подобные соединения удобно собирать, используя технологический процесс сборки узла барабана с применением индукционного нагрева охватываемой детали токами промышленной частоты [35]. Нагрев (рис. 40, б) производят двумя соленоидными катушками 1 и 2 вихревыми токами, индуктируемыми в массе барабана и вызывающими в ней теплообразование. Катушки питаются от электрической сети переменного тока напряжением 380 В промышленной частоты.

Одновременно с технологическим процессом сборки разработан также сборочный стенд с верхним и нижним механизмами относительной ориентации сопрягаемых деталей с барабаном, что позволило повысить производительность и качество сборочного процесса. Известны также разработанные УЗПИ установки для индукционно-тепловой сборки прессовых сопряжений колесных пар железнодорожных вагонов [42], зубчатых венцов с эксцентриками кривошипных прессов [1], канатных шкивов, роликов и блоков талевых механизмов нефтепромыслового оборудования [2] и др.

Способ сборки поперечно-прессовых соединений с охлаждением охватываемой детали имеет ряд преимуществ перед сборкой с нагревом охватываемой детали. Нагрев крупных деталей сложной формы может сопровождаться значительными температурными напряжениями и местными деформациями, снижением твердости и окислением сопрягаемых поверхностей.

Сборка с применением охлаждения охватываемой детали

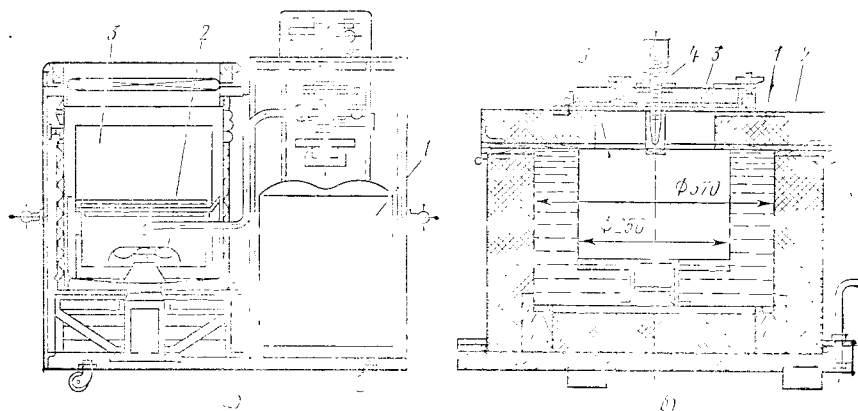


Рис. 41. Установки для охлаждения деталей

лишена указанных недостатков, она отличается высокой производительностью и экономичностью по сравнению с другими методами. Обычно для охлаждения деталей перед запрессовкой используют твердую углекислоту (сухой лед) или жидкий азот. В первом случае достигается снижение температуры охватываемой детали до -78°C , а во втором случае до -195°C . Температура охлаждения охватываемой детали

$$t_0 = \frac{\delta + \Delta}{K_{\alpha} d},$$

где Δ — минимальный зазор, обеспечивающий свободный вход детали в отверстие, мм (обычно этот зазор принимают равным $\frac{0,6}{1000} \div \frac{1,0}{1000} d$ в зависимости от времени выполнения операции и диаметра d охватываемой детали); K_{α} — коэффициент линейного сужения материала детали при охлаждении.

На практике применяют два способа охлаждения деталей: непосредственно в хладоносителе и вне его. При первом способе в установке (рис. 41, а) хладоноситель (жидкий азот) поступает из сосуда Дюара 1 в камеру 3, где испаряется и вентилятором 2 направляется на охлаждаемые детали [24]. Применяют также более упрощенные установки с непосредственным контактом деталей с охлаждающей средой, состоящие обычно из двух металлических баков (наружного и внутреннего), между которыми имеется теплоизоляция. Бак плотно закрывается теплоизоляционной крышкой. Для заливки азота и выхода паров в процессе охлаждения деталей в крышке предусмотрено специальное отверстие.

Установка (рис. 41, б) для охлаждения деталей без контакта с хладоносителем состоит из теплоизоляционного корпуса 2 с крышкой 1. Жидкий азот заливается в пространство А; дета-

ли загружают в камеру 5 через окно в крышке 1, после чего оно закрывается люком 3. Температуру в камере контролируют термометром 4. Применение подобных установок обеспечивает равномерное охлаждение деталей, при этом расход охлаждающей жидкости на 40—50 % меньше, чем в установке с непосредственным контактом хладоносителя.

Перед охлаждением детали должны быть очищены от грязи, масла и обезжирены. Укладку деталей производят с помощью клещей. После охлаждения детали быстро вынимают клещами и устанавливают в подготовленное отверстие. При посадке необходимо следить, чтобы детали входили без перекоса. Удары по детали недопустимы, так как при низкой температуре в связи с уменьшением ударной вязкости металла могут появиться трещины.

При выполнении сборки с охлаждением следует иметь в виду, что прикосновение к металлу, охлажденному до -30°C и ниже, вызывает действие на кожу рук, аналогичное ожогу. Нельзя в установках и сосудах с жидким азотом или сухим льдом плотно закрывать отверстие, предназначенное для выхода паров, во избежание взрыва.

При работе с охлаждающими жидкостями следует строго соблюдать требования техники безопасности.

На заводах единичного и мелкосерийного производства метод запрессовки с применением глубокого холода используется в основном для сборки небольших деталей типа втулок, стаканов, гильз диаметром до 200 мм при их посадке в охватывающие детали, имеющие большие размеры и сложную конфигурацию. При осуществлении посадок с весьма большими натягами иногда применяют комбинированный способ: охватывающую деталь нагревают, а охватываемую охлаждают.

Заслуживает внимания опыт некоторых станкостроительных заводов, применяющих для сборки соединений с небольшими натягами низкотемпературные воздушно-охлаждающие установки [24].

На заводах единичного и мелкосерийного производства при сборке и разборке соединений с большими натягами применяют гидропрессовый метод [54]. Сущность его заключается в том, что в зону между контактирующими поверхностями сопрягаемых деталей нагнетается под высоким давлением (до 200 МПа) масло. В результате этого происходит упругое увеличение диаметра охватывающей и уменьшение диаметра охватываемой деталей и в сопряжении вместо натяга образуется зазор, заполненный маслом. Поэтому при формировании таких соединений возникает полужидкостное или жидкостное трение сопрягаемых элементов. При этом сборка значительно упрощается, так как требуется приложить небольшую осевую силу. В зону контакта масло подают через специальные маслоподводящие каналы, выполненные в охватываемой или охватывающей деталях. По-

дачу масла производят ручными или механизированными насосами высокого давления.

В тяжелом машиностроении гидропрессовый способ чаще всего используют при посадке на валы муфт, шестерен, сборке составных коленчатых и кривошипных валов и др. Применение гидропрессовых посадок способствует созданию компактных разборных соединений при значительных натягах, гарантирующих их неподвижность без применения шпонок и штифтов для взаимного фиксирования деталей.

Сборка паяных, заклепочных и клеевых соединений. Пайка представляет собой процесс получения неразъемного соединения деталей нагревом с использованием присадочного металла (припоя), температура плавления которого ниже, чем основного металла. Расплавленный припой затекает в специально созданные зазоры между соединяемыми деталями. При этом происходит процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав более прочный, чем припой. Прочность паяного соединения определяется температурой плавления припоя. Применяют мягкие припои (обычно оловянисто-свинцовые ПОС-30, ПОС-40, ПОС-50 и др.), имеющие температуру плавления ниже 400 °С, и твердые (медные, медно-цинковые ПМЦ36, ПМЦ48, ПМЦ54) с температурой плавления выше 400 °С. Для получения прочного соединения применяют припои, имеющие предел прочности до 5 МПа. Если пайку производят только для получения плотности соединения, то используют мягкие припои (предел прочности до 7 МПа).

Вид припоя назначается конструктором в зависимости от условий работы соединения в изделии и оговаривается техническими требованиями.

Для повышения качества пайки применяют флюсы, которые растворяют окислы на поверхности металлов и защищают нагретые детали и жидкий припой от окисления. Флюсы увеличивают также жидкотекучесть припоя и улучшают смачиваемость места спая. При пайке мягкими припоями в качестве флюса используют канифоль, хлористый цинк, нашатырь. Для твердых припоев применяют буру и плавиковый шпат, а также смеси их с различными окислителями или солями щелочных металлов. Пайку точных соединений производят без применения флюсов в защитной атмосфере или в вакууме.

Технология пайки включает ряд последовательно выполняемых операций: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, обработку деталей после пайки, контроль качества. Подготовка поверхностей деталей к пайке заключается в очистке их от загрязнений, окисных пленок и обезжиривании. Если нужно получить высокую плотность и герметичность соединения, места паяния после очистки предварительно облуживают тонким

слоем расплавленного олова или легкоплавкими припоями (ПОС-40, ПОС-60 и др.).

При сборке деталей перед пайкой необходимо осуществить их взаимную фиксацию с обеспечением равномерного зазора между сопрягаемыми поверхностями. При любых способах пайки в процессе сборки целесообразно закреплять соединяемые детали в простейших зажимных приспособлениях или фиксировать их с помощью кернения, развальцовки, точечной сварки и т. п. [47].

От величины зазора между сопрягаемыми деталями зависит диффузионный обмен припоя с основным металлом, влияющий на прочность соединения. Обычно при пайке мягкими припоями зазор устанавливают 0,025—0,075 мм, при пайке медью 0,012—0,014 мм. Припой относительно места спая должен быть зафиксирован.

В единичном и мелкосерийном производстве наиболее распространены способы пайки с местным нагревом деталей с помощью паяльника, газовой горелки или индукционных нагревателей. Паяльники обычно применяют при пайке мягкими припоями тонкостенных деталей из сталей, меди и медных сплавов.

Основным недостатком такого способа пайки является малый запас аккумулированного тепла в паяльнике, что не позволяет производить пайку массивных деталей.

Для пайки крупных деталей твердыми припоями применяют как специальные ацетилено-кислородные горелки с широким факелом, так и нормальные, сварочные. Мощность источника тепла в горелках регулируется путем подбора наконечников. Вместо ацетилена целесообразно использовать более дешевый газ — пропан. Кроме того, пропано-кислородное пламя не ослепляет паяльщиков.

Контроль температуры нагрева деталей при пайке горелками можно осуществлять с помощью термочувствительных карандашей. Механизацию процесса пайки деталей газовыми горелками можно осуществлять, применяя поворотные столы и другие устройства. Основным недостатком этого способа пайки является трудность контроля температуры нагрева, что может вызвать коробление деталей при их чрезмерном местном нагреве.

При пайке массивных деталей применяют также индукционный способ их нагрева токами высокой частоты. Соединяемые детали при индукционной пайке после нанесения на них припоя и флюса располагают в индукторе и нагревают до температуры пайки. Необходимая интенсивность нагрева достигается подбором соответствующих индукторов с учетом формы соединяемых деталей. В связи с тем, что индукционный нагрев протекает весьма быстро и ограничен по зоне, коробление и окисление деталей незначительные.

После пайки детали подвергают дальнейшей обработке пу-

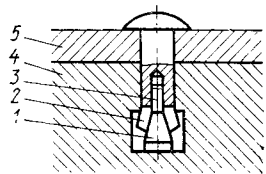


Рис. 42. Заклепка для соединения деталей, одна из которых имеет глухое отверстие

тем удаления остатков флюса и зачистки наплывов припоя. Контроль паяных соединений осуществляют как по параметрам режима пайки, так и внешним осмотром, а также испытанием на прочность и герметичность в соответствии с техническими условиями.

Клепкой называется процесс получения неразъемного соединения деталей заклепкой через имеющиеся в сопрягаемых деталях отверстия с последующим формированием (расклепыванием) замыкающей головки. В конструкциях современных машин область применения заклепочных соединений значительно сократилась за счет распространения весьма эффективных сварных и клеевых соединений. Особенно ощутимо вытесняется клепка при производстве различных металлоконструкций в связи с большими достижениями в развитии сварочных процессов. Однако заклепочные соединения в настоящее время находят применение в узлах машин, которые подвержены большим динамическим нагрузкам, а также при сборке деталей из разнородных материалов (сталь — чугун, металл — пластмасса), сварка и пайка которых затруднены, а склеивание не обеспечивает необходимой прочности.

Для склепывания применяют стандартные заклепки с головками различного вида (со сплошным стержнем) и специальные (трубчатые и полутрубчатые). Материал заклепок — сталь, медь, латунь и алюминиевые сплавы.

Известны [50] также конструкции заклепок для соединения деталей, одна из которых имеет глухое отверстие (рис. 42). Заклепка для соединения деталей 4 и 5 вставляется в соосные отверстия. При этом отверстие в детали 4 выполнено глухим и имеет ступенчатую форму. Замыкающая головка заклепки 2, расположенная в ступенчатом отверстии, образуется при осевом перемещении заклепки с помощью конусной вставки 1 путем развальцовки. Для облегчения сборки коническая вставка имеет цилиндрическую часть 3, входящую в отверстие заклепки.

Отверстия под заклепки в соединяемых деталях обычно подготавливают заранее путем сверления или пробивки. Диаметральные зазоры в сопряжении стержня заклепки с базовой деталью должны выдерживаться в заданных пределах, так как от этого в значительной мере зависит возможность появления изгиба заклепки или смещение деталей, что в процессе эксплуатации изделия приводит к преждевременному разрушению соединения. Значения этих зазоров находятся в пределах 0,2—0,3 мм для

заклепок с диаметром стержня от 6 до 18 мм. Гнезда под потайные заклепки получают zenкованием или штамповкой.

Для получения качественного соединения длина выступающей части стержня заклепки должна составлять: для образования потайной головки от 0,8 до 1,2, а для полукруглой головки от 1,2 до 1,5 диаметра заклепки. Клепку мелкими заклепками с диаметром стержня до 8—10 мм выполняют обычно в холодном состоянии, а заклепками с диаметром стержня более 10 мм — в нагретом состоянии. При горячей клепке заклепки нагревают до температуры 1000—1100 °С. Заканчивают клепку при температуре 500—600 °С, так как ниже этой температуры металл теряет пластичность и приобретает хрупкость.

Процесс горячей клепки включает нагрев заклепки, постановку ее в отверстие, осаживание стержня заклепки и образование замыкающей головки. Нагревают заклепки в угольных, нефтяных, газовых и электрических печах, а при малом объеме работ — в горнах. Применяют также электроконтактный способ нагрева.

По способу действия клепального оборудования различают два вида клепки: ударную и прессовую. При ударной клепке замыкающая головка заклепки образуется под действием произведенного удара (или серии ударов). При прессовой клепке замыкающая головка формируется путем прессования, т. е. медленного приложения значительной статической силы. Механизацию клепальных работ осуществляют применением клепальных молотков, переносных клепальных скоб, клепальных машин, прессов.

Наиболее распространенным механизированным инструментом для ударной клепки являются пневматические клепальные молотки (ИП 4004, ИП 4005, ИП 4007, ИП 4008), обеспечивающие сборку заклепок диаметром от 16 до 32 мм. Эти молотки снабжены глушителями шума.

В настоящее время уделяется большое внимание разработке виброзащищенных конструкций пневматических молотков. К числу таких конструкций относятся виброзащищенные клепальные молотки типа ИП 4009, ИП 4010, П 45, разработанные ВНИИСМИ и выпускаемые Томским электромеханическим заводом им. Вахрушева. По комплексу вибрационных и удельных параметров эти молотки превосходят лучшие отечественные и зарубежные образцы [43].

Значительное распространение в условиях единичного и мелкосерийного производства при клепке крупных деталей получили подвесные пресс-скобы с пневматическим или гидравлическим приводом.

При необходимости обеспечения в процессе клепки значительных сил чаще всего применяют переносные скобы с гидравлическим приводом.

Например, на одном из заводов для крепления фрикцион-

ных планок к боковинам тележек применяют гидроклепальную переносную установку, обеспечивающую расклепывание нагретой головки заклепки диаметром 16 мм. Установка включает в себя скобу с корпусом силовых цилиндров, питаемых от насосной станции, и пульт управления. Наибольшая развиваемая сила 140 кН, ход штока гидроцилиндров 35 мм, время рабочего цикла 4 с. Масса установки 45 кг.

Для заклепки розеток в раме вагонов на Брянском машиностроительном заводе используют пневмогидравлическую клепальную скобу, развивающую силу зажима 440 кН при рабочем давлении масла 24 МПа. В процессе работы скоба подвешивается на крюк консольного крана. Внедрение скобы на заводе механизировало тяжелый ручной труд и ликвидировало сильный шум, производимый пневматическими клепальными молотками.

Контроль заклепочных соединений в основном заключается в проверке правильности формы головок заклепок и плотности их прилегания к поверхности соединяемых деталей. Если замыкающая головка заклепки сферическая, то ее размеры и форма определяются соответствующими параметрами лунки в обжимке. Плоские замыкающие головки заклепок контролируют по высоте и диаметру с помощью специальных шаблонов, а потайные — линейкой и щупом. Отсутствие зазоров между склепываемыми деталями проверяют щупом.

Клеевые соединения находят все более широкое применение при сборке различных изделий. Главным преимуществом склеивания является возможность получения неразъемных соединений из разнородных металлов и неметаллических материалов. Технологические процессы при склеивании значительно проще, чем при многих других методах получения неразъемного соединения деталей.

Механическая прочность клеевого соединения зависит от вида и качества клея, от качества подготовки склеиваемых поверхностей, от толщины слоя клея и равномерности его распределения, от соблюдения температурного и других режимов процесса. Важнейшим свойством любого клея является адгезия, т. е. способность сцепляться с поверхностью материала.

Технологический процесс склеивания деталей включает следующие основные виды работ: подготовку поверхностей, приготовление клея и нанесение его на поверхности, выдержку и подсушку, соединение склеиваемых деталей и создание условий для отверждения, зачистку и проверку соединения. Способы подготовки поверхностей деталей можно условно разделить на механические и химические. К механическим способам относятся гидropескоструйная обработка, зачистка абразивными кругами, шкурками или стальными щетками; к химическим — травление металлов в растворах кислот, гальваническая обработка, нанесение адгезионных грунтов [3].

Клеи могут поставляться в готовом виде (например, БФ-2) или приготавливаться из отдельных компонентов непосредственно перед их применением. Наносят клей с помощью кисти, шпателя или пульверизатора на обе сопрягаемые поверхности деталей с соблюдением по условиям прочности толщины слоя и нормы расхода. После нанесения клея предусматривается открытая выдержка с целью удаления растворителей. Затем производят подсушивание, продолжительность которого зависит от марки клея (обычно не превышает 60 мин).

После этого осуществляется сборка соединяемых деталей и процесс отверждения, который обычно протекает с выдержкой под давлением и подогревом. Необходимое давление создают с помощью струбцин, специальных зажимных приспособлений, прессов, автоклав. Если применяются клеи, процесс отверждения которых происходит без подогрева, то продолжительность выдержки значительно увеличивается и может достичь 30—36 ч. После склеивания соединение зачищают и проверяют качество внешним осмотром и простукиванием. Наиболее совершенным является контроль с использованием ультразвуковых установок и пьезоэлектрических вибраторов. При этом места с различным качеством проклейки будут отличаться проницаемостью звука и вибрацией.

Существует большое разнообразие марок клеев. В практике машиностроения для склеивания металлов, пластмасс и других неметаллических материалов широко используют клеи БФ-2, БФ-4, ВК-3, ВК-13, ВК-16, ПУ-2, ВС-10М, ВК-32-ЭМ и др. Они бывают в виде жидкости или пленки. Отверждение их происходит под давлением (в пределах от 0,1 до 2 МПа) при температуре до 200 °С. Применяют также клеи холодного отверждения: ВК-9, БОВ и др.

Клеевые соединения находят применение в различных отраслях машиностроения и приборостроения.

Синтетические клеи используют при склеивании пластмассовых накладных направляющих с чугунными основаниями станнин, резины с металлом, при изготовлении режущего и измерительного инструмента, приборов, станочной оснастки и др. Склеивание применяют в соединениях венцов и ступиц при изготовлении зубчатых колес, фрикционных накладок тормозных дисков и др. Все более широкое применение находят анаэробные клеи — диэфиры акриловой кислоты. При контактировании с кислородом воздуха они остаются жидкими и быстро отверждаются при отсутствии кислорода в клеевом соединении. При комнатной температуре анаэробные клеи отверждаются в течение 6—12 ч, а при повышении температуры — в течение нескольких минут.

Склеиваемые поверхности должны предварительно обрабатываться раствором трихлорэтилена (наилучшие результаты достигаются при обезжиривании в парах растворителя).

Анаэробные клеи эффективно используют для точной посадки шестерен, втулок и кулачков на валы, для закрепления гильз в блоках цилиндров двигателей, фиксации и уплотнения резьбовых соединений и т. д. Прочность соединений на сдвиг с применением анаэробных клеев достигает 45 МПа при допустимых температурах эксплуатации до 200 °С.

В последнее время получили распространение комбинированные (клеемеханические) соединения: клеесварные, клеезаклепочные и клеерезьбовые, которые отличаются высокой прочностью (особенно при циклических нагрузках), долговечностью, герметичностью и хорошей коррозионной стойкостью. Они являются весьма экономичными, так как не требуют применения оснастки при склеивании [60].

Как показали экспериментальные исследования [20], клеерезьбовые соединения целесообразно также применять в универсально-сборных приспособлениях для повышения их прочности и контактной жесткости.

Электромонтажные работы. При сборке различных изделий выполняют электромонтажные работы, включающие следующие основные виды операций: установку, выверку и закрепление электродвигателей, электромагнитов тормозов и муфт, различной пускорегулирующей, сигнальной и блокирующей электроаппаратуры; монтаж электропроводок, состоящих из совокупности проводов, шнуров и кабелей с их креплениями, поддерживающими и защитными конструктивными элементами; контроль правильности выполненных электромонтажных работ.

Установка и закрепление электрооборудования осуществляются в процессе общей сборки изделий и отдельных сборочных единиц в соответствии с чертежами и техническими условиями.

Монтаж электропроводки в станинах машин обычно выполняют проводами АПР, ПРГ, ПГВ, ПМВ, АОЛ, АПВ, ПМВГ и др. в стальных трубах, непосредственно в каналах станин, в металлических и резиноканевых рукавах или поливинилхлоридных трубках (последние наиболее стойки к воздействию масел, эмульсий и керосина). Монтаж электропроводки в подвижных частях изделий осуществляют гибкими проводами в резиноканевых или металлических рукавах. Переходы с подвижных панелей управления выполняют жгутами гибких проводов с запасом в виде петли. При необходимости пропускания проводов через трубы или рукава, или связи жгутов количество проводов увеличивают на 8—10 %.

Перед монтажом электропроводки в стальных трубах предварительно размечают на изделии трассу и устанавливают крепежные детали. Трубы, рукава и жгуты закрепляют к станинам и корпусам изделий с помощью скоб, устанавливаемых через 800—1000 мм для труб и 500—700 мм для рукавов и жгутов. Крепление также следует выполнять у концов проводки, а также у входа в электроаппаратуру и распределительные ко-

робки. Соединения и ответвления проводов должны выполняться только в распределительных коробках или клеммных шкафах. Соединение проводов внутри труб или рукавов не допускается.

Монтаж трубопроводов и рукавов на корпусах машин выполняют с применением уплотняющих прокладок, стойких к воздействию масла и эмульсии, а резьбовые соединения уплотняют путем смазывания резьбы суриком или масляной краской. Электропитание подвижных элементов машин осуществляется через специальные устройства со скользящими контактами-троллями или контактными кольцами.

При соединении и ответвлении медных и алюминиевых жил проводов и кабелей находят применение газовая (пропано-воздушная и пропано-кислородная), термитная сварка и электро-сварка, пайка, опрессовка, а также механические способы соединения с помощью зажимов. С проводов и кабелей перед их соединением снимают изоляцию и очищают жилу от загрязнений и пропиточного состава салфеткой, смоченной в бензине или ацетоне. Затем медные жилы без металлопокрытия и алюминиевые жилы зачищают металлической щеткой или наждачной шкуркой до металлического блеска. Длина разделки проводов устанавливается в зависимости от способа их соединения и сечения жилы.

Для повышения производительности и качества электромонтажных работ применяют различные средства малой механизации. Например, для операции по обработке медных и алюминиевых одножильных проводов сечением от 1 до 4 мм² целесообразно использовать электромонтажные клещи КЭМ-1. С их помощью осуществляется резка проводов, снятие изоляции с концов провода без повреждения токоведущей жилы, а также изготовление присоединительных колец четырех диаметров под винты М3—М6.

Для снятия пластмассовой изоляции применяют клещи ИПИ-1, работающие от электросети напряжением 36 В. В результате нагрева губок клещей производится поперечное оплавление (отрезка) изоляции с последующим ее удалением при движении клещей вдоль оси жилы. Калиброванные отверстия в губках клещей обеспечивают разделку жил кабелей сечением 0,35—2,5 мм². Продолжительность нагрева губок до рабочей температуры (200 °С) 10—12 мин. Для кабелей сечением от 1,5 до 6 мм² применяют термоклещи ТК-1.

Значительно ускоряется процесс продольной и поперечной резки шланговых оболочек кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией при использовании простых по конструкции кабельных ножей «Балтика». Для этих целей применяют также механизированные установки с регулируемыми ножами.

При опрессовке алюминиевых и медных жил применяют механические и гидравлические пресс-клещи, развивающие усилие

на пуансоне 5,5—14 кН, а также механические и гидравлические прессы усилием 70—200 кН. Наиболее широкое применение получили пресс-клещи ПК-1 и ПК-2М и прессы РМП-7, ПГЭП-2, ПГР-20М1.

При соединении алюминиевых и медных жил проводов кабелей опрессовкой используют стандартизированные гильзы ГАО, ГА и ГМ, а также наконечники ТА, ТАМ, ШП, П, Т.

Непосредственное присоединение проводников к электрическим машинам и аппаратуре выполняется с помощью зажимов, специально предназначенных для этих целей. Для изолирования мест соединения проводников используют липкие ленты из поливинилхлоридного пластика, а также допускается применение лакоткани с последующим наложением на нее прорезиненной ленты с покрытием изоляционным лаком или эмалью.

Маркировку жил проводов выполняют на оконцевателях типа ОП или поливинилхлоридных трубках (бирках) длиной 20—30 мм, плотно надетых на конец жилы. На поливинилхлоридных трубках маркировку наносят специальными несмываемыми чернилами следующего состава: дихлорэтан 100 г, нигрозин 5 г, анили 1 г, уксусная кислота 2 капли [41]. Нанесение маркировочного шифра на трубки можно выполнять также методом горячего тиснения на специализированных автоматах.

После выполнения электромонтажных работ перед пробным включением для проверки напряжения необходимо выявить: соответствие выполнения монтажных работ рабочим чертежам и схемам; надежность крепления проводки к изделию, соединения труб и рукавов между собой и присоединение их к коробкам; надежность выполнения соединений и оконцеваний проводки; правильность присоединения проводов к электроаппаратуре (наличие их маркировки), а также наличие цепи заземления; сопротивление изоляции цепей.

Измерение сопротивления изоляции силовых и осветительных цепей постоянного и переменного тока производят мегомметром, работающим с напряжением 1000 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Электрические характеристики выполненного заземления проверяют, измеряя сопротивление заземляющего устройства и полное сопротивление петли «фаза — нуль».

При выполнении электромонтажных и испытательных работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ И ИСПЫТАНИЯ ТИПОВЫХ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Балансировка роторов. В результате погрешностей изготовления и сборки вращающихся составных частей (роторов) изделий появляется их неуравновешенность, т. е. такое распределе-

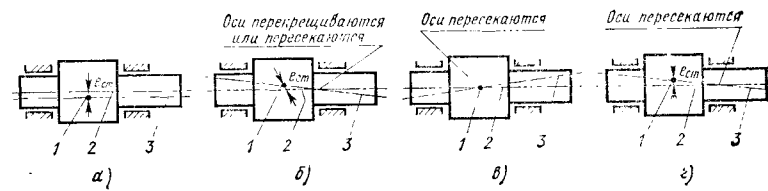


Рис. 43. Виды неуравновешенности ротора:
а — статическая; б — моментная; в — динамическая; г — квазистатическая; 1 — центр масс; 2 — ось ротора; 3 — главная центральная ось инерции ротора

ние масс, которое при вращении вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и его изгиб. При эксплуатации машин с неуравновешенными роторами эти нагрузки снижают их ресурс и точность, а возникающие при этом вибрации передаются близко расположенному оборудованию и оказывают вредное воздействие на организм обслуживающего персонала.

Тенденция непрерывного увеличения скоростей вращения роторов приводит к повышению допусков на их неуравновешенность, а также предъявляет соответствующие требования к тем роторам, к которым эти требования раньше не регламентировались, например к сборочным единицам нефтепромышленного оборудования [49], к литым колесным центрам для подвижного состава железных дорог по ГОСТ 4491—75 и др.

Виды неуравновешенности ротора согласно ГОСТ 19534—74 приведены на рис. 43. Для уменьшения неуравновешенности роторов при сборке изделий на специальных станках и установках производят балансировку, т. е. определяют значения и углы дисбалансов ротора и уменьшают их корректировкой его масс. В соответствии с видами неуравновешенности балансировка может быть статической, моментной или динамической и осуществляется за три операции: выявление значений и угла дисбаланса, корректировка массы ротора, контроль проведенной операции.

Трудности осуществления балансировки в условиях единичного и мелкосерийного производства и выбора для этого соответствующего оборудования возникают главным образом из-за значительного разнообразия номенклатуры деталей и сборочных единиц, подлежащих балансировке, конструктивные особенности и классы точности которых зачастую весьма различны (зубчатые колеса, маховики, диски, муфты, вентиляторы, рабочие колеса турбин, роторы дымососов и пр.). Многие из этих конструктивно несхожих деталей, вращающихся с различной скоростью и, следовательно, требующих различной точности балансировки, изготавливаются на одном и том же предприятии. Например, на заводах металлургического машиностроения производят статическую балансировку крупногабаритных дискообразных деталей — зубчатых колес, маховиков, дисковых пил,

диаметры которых колеблются от 600 до 4500 мм, а массы от 50 кг до 60 т, а также мелких высокооборотных шкивов для приводных ремней, требующих высокой точности балансировки. Наряду с этим статической балансировке подлежат также пустотелые ролики роллангов, несмотря на то, что их длина в несколько раз превышает диаметр, и конусы засыпных аппаратов доменных печей, хотя в эксплуатации они не вращаются (необходимость статической балансировки этих двух классов деталей обусловлены специфическими условиями их эксплуатации и здесь не рассматриваются).

Такое многообразие номенклатуры в значительной степени затрудняет правильное назначение допусков на уравновешенность деталей и выбор оборудования для выполнения различных операций. Часто записи в чертежах о допустимых дисбалансах не увязаны с технологическими возможностями их возникновения при изготовлении детали или сборочной единицы.

В результате расчетов, подтвержденных производственными наблюдениями, установлено, что для зубчатых колес, изготовляемых из отливок 3-го класса точности по ГОСТ 2009—55, величина неуравновешенной массы на наружном диаметре D_n не может превышать 2,5 % массы детали. Поэтому запись в чертежах о необходимости проведения статического уравновешивания следует производить лишь в тех случаях, когда рассчитанное по соответствующим формулам допустимое значение дисбаланса не превышает величины $D_{ст\max} = 0,0125 D_n$.

В условиях единичного и мелкосерийного производства операции определения и уменьшения дисбалансов выполняются раздельно. В станках и устройствах для статической балансировки определяют главный вектор $D_{ст}$ дисбалансов ротора, модуль которого

$$D_{ст} = m_0 e_{ст} = m \rho,$$

где m_0 — масса ротора; $e_{ст}$ — эксцентриситет массы, т. е. расстояние ее центра до оси ротора (см. рис. 44); m — точечная неуравновешенная масса; ρ — расстояние неуравновешенной массы до оси вращения ротора.

Статический дисбаланс определяют: с помощью силы тяжести на невращаемом роторе (рис. 44); на вращаемом станком роторе, т. е. в динамическом режиме; другими способами. В единичном и мелкосерийном производстве весьма распространенной является статическая балансировка на параллельных призмах (рис. 44, а), роликах (рис. 44, б) и дисках (рис. 44, в), при которой дискообразные детали предварительно насаживают на контрольные оправки.

Установка с параллельными призмами представляет собой две установленные параллельно на плите стойки (тумбы), на которых закреплены призматические направляющие. Принцип балансировки на призмах основан на том, что если неуравно-

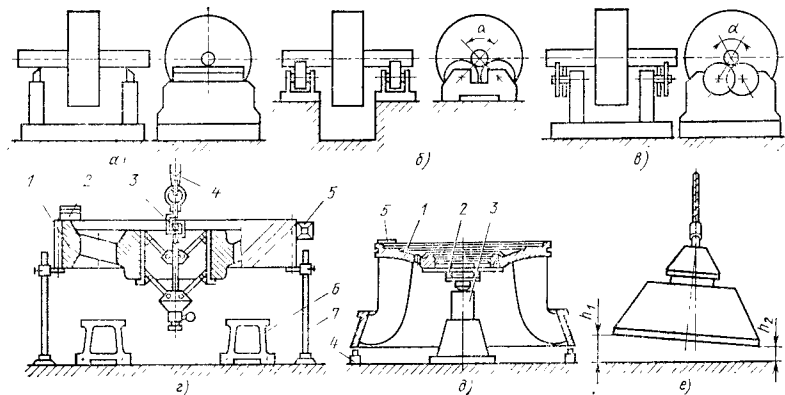


Рис. 44. Основные схемы установок и устройств для статической балансировки роторов:

а — на параллельных призмах; б — на роликовых опорах; в — на дисковых опорах; г — на станках типа УСБ; 1 — балансируемая деталь; 2 — корректирующая масса; 3 — устройство УСБ; 4 — краны подъемника; 5 — уровень-квадрант; 6 — подставка; 7 — штангенрейсмас; е — на гибкой нити; д — на сферической плите

вешенную деталь установить на стенд так, чтобы ось ее вращения была перпендикулярной призмам, то сила тяжести неуравновешенной массы создает вращающий момент, заставляющий перекачиваться деталь по призмам. Деталь будет находиться в состоянии покоя, когда неуравновешенная масса займет крайнее нижнее положение. При балансировке на призмах длина призм не должна быть меньше $2ld$, а их стрела прогиба — более 0,02 мм, отклонение от параллельности рабочих поверхностей призм — более 0,2 мм, а перекося — более 0,02 мм на 1 м длины, овальность и конусообразность шеек контрольных оправок — более 0,01 мм, твердость и шероховатость рабочих поверхностей призм соответственно менее HRC 45—50.

Как и при уравновешивании на стенде с параллельными призмами, для балансировки на роликовых приспособлениях необходимо деталь посадить на вал или контрольную оправку.

Для проведения операции балансировки на рабочем месте необходимо поставить два роликовых приспособления на расстоянии, позволяющем устанавливать на них уравновешиваемую деталь с валом. Поскольку балансировке на роликовых приспособлениях подвергают, как правило, крупные детали, для их установки рабочее место необходимо оборудовать специальными углублениями (ямами) или использовать сборочно-испытательные стенды. Перед проведением операции следует проверить относительное расположение роликов. Отклонение от параллельности и перекося роликов, а также их смещение друг относительно друга допускается в пределах не более 0,1 мм на расстоянии между опорами. Дисбаланс детали, установленной

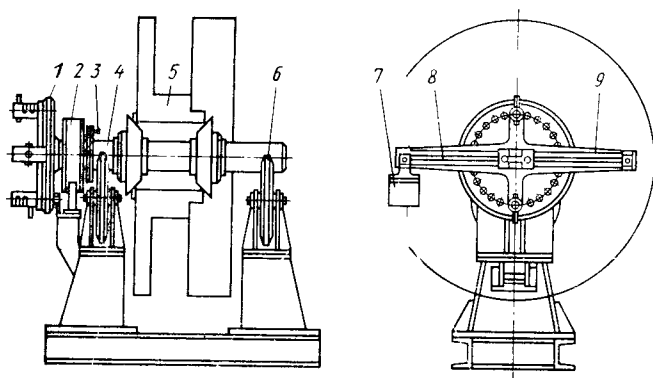


Рис. 45. Установка с отсчетной головкой для статической балансировки роторов на дисковых опорах

на роликовых приспособлениях, определяют таким же образом, как и при балансировке на установке с параллельными призмами, используя при этом поворот вала балансируемой детали под действием силы тяжести неуравновешенной массы.

Более совершенной является статическая балансировка на стендах с вращающимися дисками, в которых благодаря расположению дисков в разных плоскостях удается значительно уменьшить угол α (см. рис. 44, б, в), а следовательно, повысить точность балансировки.

Поскольку положение оси вращения ротора при статической балансировке на роликовых и дисковых приспособлениях остается неизменным относительно установки, для определения дисбаланса стенд с дисками или роликами 6 удобно оснастить специальной балансировочной головкой 2, с фланцем которой стопорными винтами 3 соединяют контрольную оправку 4 с установленным на ней ротором 5 (рис. 45). Дисбаланс определяют с помощью груза 7, перемещая его по линейке 8 коромысла 9 после того, как ротор вместе с контрольной оправкой (после прекращения его поворота под действием силы тяжести неуравновешенной массы) повернут на 90° с отсчетом по диску 1 [49].

Для статической балансировки на установках с параллельными призмами, роликовыми и дисковыми приспособлениями уравновешиваемые дискообразные детали устанавливают на контрольных валах-оправках с коническими и цилиндрическими поверхностями, которые выполняются универсальными в целях использования для различных размеров отверстий деталей. В контрольной оправке (рис. 46, а), применяемой в судостроении, это достигается за счет перемещения конусов 7 и 8 и фиксации их на контрольном валу 3 с помощью гаек 5, упорных вин-

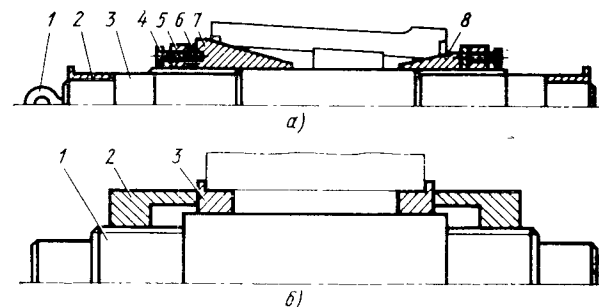


Рис. 46. Универсальные контрольные оправки для статической балансировки

тов 4 и прокладок 6 (на опорные шейки вала установлены закаленные втулки 2, а для транспортировки оправки используют рым-болт 1), а в оправке (рис. 46, б), часто используемой в тяжелом машиностроении, — за счет сменных колец 3, передвигаемых по валу 1 с помощью гаек 2.

Для повышения точности балансировки на установках с параллельными призмами применяют метод размахов, описанный в ОСТ 24.010.21—74; дисковые приспособления конструируют с учетом возможности регулирования угла α за счет перемещения одного из дисков, а установки с роликовыми приспособлениями снабжают вибратором, снижающим трение качения контрольной оправки по поверхности ролика.

Большими возможностями обладает статическая балансировка на станках, установках и устройствах, при определении дисбаланса с помощью которых ось балансируемой детали находится в вертикальном положении: на станках типа весов, на сферической пяте или с помощью специальных подвешивающих центрирующих устройств.

В условиях мелкосерийного производства установки типа весов применяют для статической балансировки составных гребных винтов со взаимозаменяемыми лопастями, в процессе которой с помощью специальных гирь измеряют статический момент силы тяжести каждой лопасти относительно оси вращения гребного винта и оси поворота лопасти.

Весьма удобны в эксплуатации универсальные устройства типа УСБ [37], с помощью которых определение дисбаланса производят без посадки уравновешиваемой детали на контрольную оправку. Перед балансировкой с помощью устройств УСБ (см. рис. 44, з) ротор 1 устанавливают на подставках 6 базовым торцом вниз, а затем устройство 3, подвешенное на кране 4, опускают в отверстие ротора до выхода опорных лап за нижний торец. После подъема устройства вместе с ротором под действием силы тяжести неуравновешенной массы ротор поворачи-

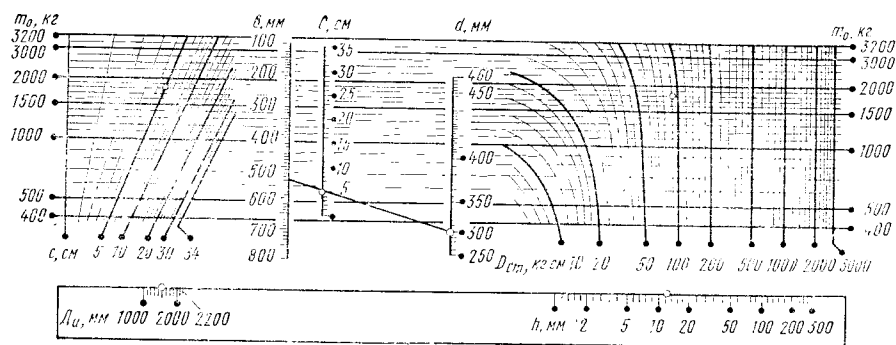


Рис. 47. Номограмма для определения значения дисбаланса при статической балансировке с помощью устройства типа УСБ

вается на определенный угол, фиксируемый с помощью рамного уровня 5 или штангенрейсмасов 7.

Дисбаланс определяют с помощью грузов 2, последовательно устанавливаемых на торец ротора до тех пор, пока он не займет горизонтальное положение, или по номограммам, одна из которых для устройства УСБ-2 приведена на рис. 47. В последнем случае для определения дисбаланса достаточно установить отклонение h на диаметре измерения $D_{\text{н}}$ и выяснить по чертежу массу детали m_0 , диаметр отверстия d и ширину ступицы b (на номограмме рис. 47, где в качестве примера показано определение дисбаланса при $b=540$ мм, $d=300$ мм, $m_0=1800$ кг, $D_{\text{н}}=1600$ мм, $h=12$ мм, сначала по значениям b и d определяют величину c , затем расстояние между точками шкал $D_{\text{н}}$ и h на транспаранте откладывают в горизонтальном направлении измерителем или с помощью линейки на номограмме от точки в бинарном поле m_0 — c , соответствующей полученной величине c и исходному значению m_0 ; ответ получают в бинарном поле m_0 — $D_{\text{ст}}$; в рассматриваемом примере $D_{\text{ст}}=92$ кг·см).

После окончания технологического перехода ротор опускают на подставки, а при дальнейшем опускании устройства оно складывается и автоматически стопорится с помощью фиксатора, после чего устройство выводят из отверстия. Такие устройства позволяют устранить необходимость в изготовлении специальной контрольной оснастки и снизить трудоемкость в 2—2,5 раза. В табл. 6 приведена техническая характеристика устройств конструкции НИИПТмаша [37], применяемых для статической балансировки зубчатых колес (УСБ) и цельнолитых гребных винтов (УСБК) массой до 12 т.

Статическую балансировку особо крупных (массой до 500 т деталей и сборочных единиц, например маховиков, зубчатых колес, радиально-осевых и поворотно-лопастных рабочих колес

6. Техническая характеристика устройств УСБ и УСБК

Параметр	Устройство			
	УСБ-1	УСБ-2	УСБК-1	УСБ-3
Диаметр (или малый диаметр конуса) отверстий деталей, мм	100—200	150—250	150—250	240—460
Конусность отверстий	—	—	1:15	—
Наибольшая ширина ротора, мм	280—350	380—440	Не ограничена	620—800
Наибольшая масса ротора, кг	500	1200	1200	3500
Габаритные размеры, мм:				
диаметр	100	150	150	240
высота	575	755	755	1075
Масса, кг	6,6	20	20	64

Продолжение

Параметр	Устройство		
	УСБК-2	УСБ-4	УСБК-3
Диаметр (или малый диаметр конуса) отверстий деталей, мм	240—460	400—560	400—560
Конусность отверстий	1:15	—	1:15
Наибольшая ширина ротора, мм	Не ограничена	910—1100	Не ограничена
Наибольшая масса ротора, кг	3500	12 000	12 000
Габаритные размеры, мм:			
диаметр	240	275	275
высота	1075	1390	1390
Масса, кг	64	290	290

гидротурбин и насосов, производят (см. рис. 44, *д*) по отклонению базового торца от горизонтальной плоскости с помощью уровня 5, для чего колеса с предварительно вставленной сборной оправкой 2 устанавливают сферической пятой на горизонтальную плоскую поверхность опоры 3, а для ограничения величины наклона колеса под нижний его обод подставляют домкрат 4. По аналогичной схеме фирма «Cockeril» (Бельгия) производит статическую балансировку конусов засыпных аппаратов доменных печей. Для этих деталей приемлема также балансировка подвешиванием, показанная на рис. 44, *е*, для чего конус 1 подвешивают на тросе 2 и измеряют разность размеров h_1 и h_2 .

При статической балансировке деталей с вертикальным положением оси их вращения для обеспечения устойчивого положения центра тяжести последний должен располагаться ниже центра поворота системы, а для повышения порога чувстви-

тельности по значению дисбаланса расстояние между этими центрами должно быть минимальным. Основными параметрами, определяющими точность статической балансировки роторов на устройствах и установках с вертикальной осью балансируемой детали, являются точность центрирования ротора относительно базовой поверхности устройства или установки и коэффициент трения в узле поворота.

В условиях единичного и мелкосерийного производства иногда производится статическая балансировка роторов в собственных подшипниках, например, крупных тихоходных зубчатых колес в корпусе редуктора, барабанов шахтных подъемных машин в сборе. Для повышения точности статической балансировки применяют бесконтактные станки, например, с аэростатическими опорами.

Применяемые установки и устройства для статической балансировки должны иметь паспорт (аттестат), в котором указывают: габариты балансируемых роторов, порог чувствительности по значению и углу дисбаланса, диапазон показаний, характеристику контрольного ротора, массу установки и др.

Высокой точностью обладают станки для статической балансировки в динамическом режиме, в которых ротор подвергают вращению с повышенной скоростью и, используя действие центробежных сил, с помощью специальной измерительной аппаратуры измеряют значение и угол дисбаланса. Станки сложны и дорогостоящи, поэтому их применение оправдано только тогда, когда, несмотря на мелкосерийный тип сборочного производства изделий, изготовление балансируемых деталей носит серийный характер, или когда другими способами добиться требуемой точности не удастся. В этих случаях можно применять отечественные станки мод. 9763, 9764, 9765, 9766 и 9767, обеспечивающие статическую балансировку роторов массой от 0,01 до 1000 кг с точностью от 2 до 15 мкм. Корректировку масс ротора после определения значения и угла дисбаланса производят удалением, добавлением или перемещением корректирующей массы.

Выбор метода корректировки масс ротора производят, исходя из его конструктивно-технологических особенностей и условий эксплуатации.

В условиях единичного и мелкосерийного производства корректирующую массу удаляют сверлением, рубкой, точением, растачиванием, фрезерованием, шлифованием, опилением, шабрением. Схемы удаления корректирующей массы некоторыми способами показаны на рис. 48. Для осуществления операции разрабатывают специальные таблицы, графики и номограммы по определению параметров, необходимых для осуществления корректировки. При этом исходят из того, что статический момент корректирующей массы относительно оси вращения рото-

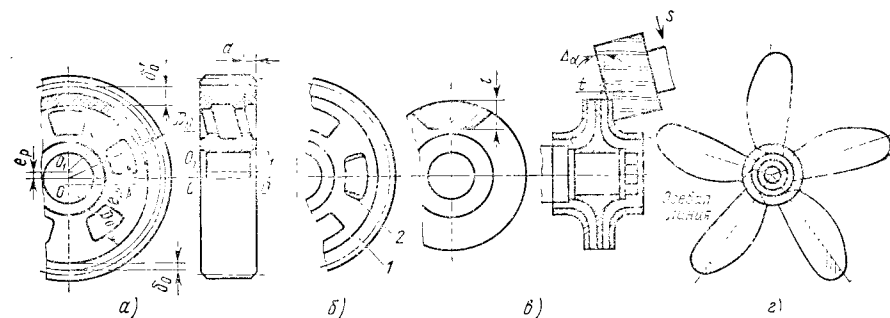


Рис. 48. Основные схемы удаления корректирующей массы при балансировке роторов

ра и ее расположение на роторе должны соответствовать измеренным значению и углу дисбаланса.

Для роторов типа зубчатых колес, не имеющих ребер жесткости, удобным способом удаления корректирующей массы является эксцентричное растачивание венца, схема которого показана на рис. 48, а. Такой способ применяют, например, для крупных зубчатых колес в тяжелом машиностроении. Для осуществления операции необходимо определить какое-либо сочетание диаметра растачивания d_p , смещение e_p оси O_2O_2 обрабатываемого отверстия относительно оси OO наружной поверхности колеса и длины обработки a , что позволит удалить массу металла, статический момент которой относительно оси OO равен установленному дисбалансу $D_{ст}$.

Проведенные исследования показали, что основной причиной появления неуравновешенной массы зубчатых колес является эксцентричность e_m венца колеса, обусловленная погрешностями технологических процессов получения заготовки и механической обработки. Можно считать, что центр неуравновешенных масс, ось O_1O_1 внутренней поверхности венца и ось OO наружной поверхности венца расположены в одной диаметральной плоскости. В этом случае статический момент удаляемой корректирующей массы относительно оси вращения колеса OO

$$D_{ст} = \gamma \int_G \int \int x dx dy dz,$$

где G — область интегрирования, ограниченная цилиндрическими поверхностями $(x + e_m)^2 + y^2 = D'_в$ и $(x - e_p)^2 + y^2 = \frac{d_p^2}{4}$, а также плоскостями $z = a$ и $z = 0$; γ — плотность материала зубчатого колеса; $\gamma = 7,8$ т/м³. После интегрирования получим

$$D_{ст} = 15,6 \cdot 10^{-3} a \left[\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{\frac{d_p^2}{4} - (x - e_p)^2} dx - \right.$$

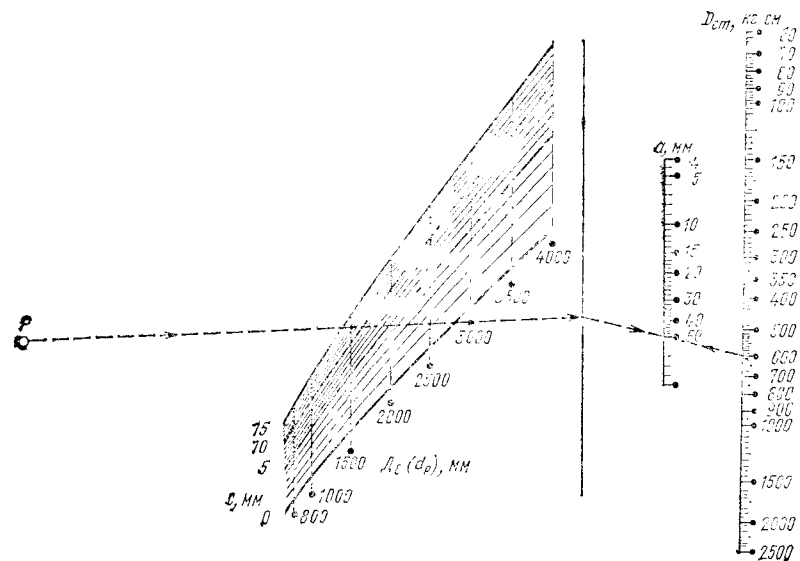


Рис. 49. Номограмма для определения параметров обработки при корректировке масс зубчатых колес путем эксцентричного растачивания

$$-\int_{x_1}^{x_2} x \sqrt{\frac{D_v^2}{4} - (x + e_m)^2} dx,$$

$$\text{где } x_1 = \frac{D_v^2 - d_p^2 + 4(e_p^2 - e_m^2)}{8(e_p + e_m)}; \quad x_2 = \frac{D_v}{2} - e_m; \quad x_3 = \frac{d_p}{2} + e_p.$$

Для практического использования удобно применять $d_p = D_v$ и $e_p = \text{const}$ и представить полученную зависимость в виде номограмм [13], одна из которых, при $e_p = 5$ мм, показана на рис. 49.

При удалении корректирующей массы методом эксцентричного растачивания необходимо следить, чтобы толщина обода после выполнения операции находилась в пределах, обеспечивающих работоспособность колеса. Для этого следует проверить одно из следующих условий:

$$0,5 (\delta_0 + \delta'_0) - e_p \geq [\delta] \quad (6)$$

$$\text{или} \quad 0,5 (D_e - D_v - 4,5m_n) - e_p \geq [\delta], \quad (7)$$

где D_e — диаметр окружности выступов (проставляется на торце колеса), мм; m_n — нормальный модуль зубчатой передачи, мм; δ'_0 — толщина венца в месте устранения неуравновешенной массы перед обработкой, мм; δ_0 — толщина венца в противоположном от устраняемой массы месте, мм; $[\delta]$ — наименьшая до-

пускаемая толщина венца, мм; для колес диаметром до 2500 мм $[\delta] = 20$ мм, для других колес величина $[\delta]$ назначается конструктором-разработчиком.

Перед проведением операции эксцентричного растачивания измеряют диаметр D_v венца и технологический эксцентриситет $e_m = 0,5 (\delta' - \delta_0)$.

Далее, исходя из величины D_v , e_m и $D_{ст}$ и принимая $d_p = D_v$ и $e_p = 5$ мм, по номограмме (рис. 49) определяют a (если полученная величина a больше длины обрабатываемой стороны венца, производят перерасчет величины a по другой номограмме, в которой $e_p > 5$ мм), после чего проверяют соотношения (6) или (7). Затем устанавливают колесо на карусельный станок, проверяя величину произведенного смещения центров (для этого контролируют биение наружной цилиндрической поверхности колеса — оно должно быть вдвое больше величины e_p), после чего производят растачивание венца колеса диаметром $d_p = D_v$ на длину a .

По аналогичной методике могут разрабатываться номограммы для удаления корректирующей массы путем эксцентричного наружного точения. Таким способом, например, на Новокраматорском машиностроительном заводе им. Ленина производят корректировку масс пустотелых роликов рольгангов, для чего составлена номограмма и разработан кондуктор для перецентрировки ролика. Для устранения корректирующей массы в деталях типа зубчатых колес применяют также фрезерование диска (см. рис. 48, б), предварительно определив размеры обработки, исходя из величины измеренного дисбаланса, конструкции колеса и траектории обработки. Так же определяют угол врезания $\Delta\alpha$, начальную глубину t (или длину l) резания при удалении неуравновешенной массы небольших рабочих колес турбин и артезианских насосов (см. рис. 48, а). Подробно методика определения необходимых параметров обработки и технология статической балансировки подобных роторов приведена в ОСТ 2606-488—72.

Легко определяют параметры обработки для удаления корректирующей массы путем высверливания, которые обычно представляют в виде таблицы с указанием массы удаляемого металла в зависимости от диаметра сверла и глубины сверления.

В роторах, для которых из-за сложности геометрических форм поверхностей требования к соблюдению этих форм высокие, удаление корректирующей массы производят последовательными пробными проходами режущего инструмента и контролем как дисбаланса, так и профиля обрабатываемой поверхности. Например, при статической балансировке роторов типа гребных винтов (см. рис. 48, з) удаление металла производят последовательно вначале пневмозубилом, а затем шлифовальной машиной, строго контролируя профиль лопастей в соответствии с ГОСТ 8054—72.

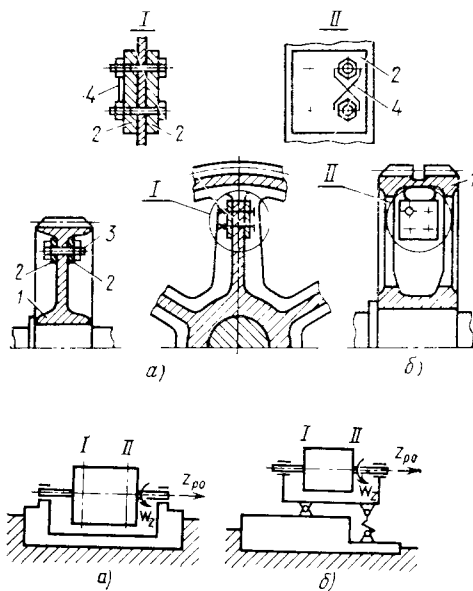


Рис. 50. Способы прикрепления грузов при корректировке масс роторов:
1 — зубчатое колесо; 2 — грузы;
3 — болт; 4 — проволока

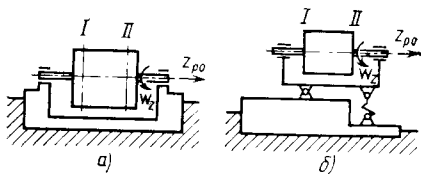


Рис. 51. Схемы механических систем универсальных станков для динамической балансировки роторов

При корректировке масс ротора путем добавления корректирующей массы место расположения, способ крепления, форму и размеры прикрепляемых грузов, а также необходимые параметры крепежной оснастки назначают, исходя из конструкции ротора, измеренного дисбаланса и требований к внешнему виду.

В крупных роторах грузы массой до 30 кг крепят двумя болтами, а свыше 30 кг — четырьмя, выполнив после этого в целях предохранения от самоотвинчивания одну из следующих операций: а) приваривание болтов к грузу, а гаек — к болтам (рис. 50, а); б) присверливание гаек совместно с болтами и закручивание проволокой (рис. 50, б).

В качестве материала груза чаще всего используют прокат, а необходимые размеры его определяют по специальным номограммам.

При динамической балансировке определяются и уменьшаются как моментная, так и статическая неуравновешенность ротора одновременно. Динамическую балансировку выполняют на специальных станках, которые измеряют при вращении или колебании ротора динамические опорные реакции и характеристики колебательного процесса, избирательно выделяя факторы, определяемые неуравновешенностью ротора.

В условиях единичного и мелкосерийного производства наиболее применимы балансировочные станки с фиксированной осью колебания оси ротора (рис. 51, а) и фиксированной плоскостью колебаний оси вращения ротора (рис. 51, б). Станки,

относящиеся к первой группе, обладают жесткой связью колеблющейся системы с основанием в направлениях, перпендикулярном и параллельном фиксированной оси колебаний системы. При балансировке поочередно определяют дисбаланс в двух выбранных плоскостях I и II коррекции, для чего последние поочередно совмещаются с фиксированной осью колебания рамы. Станки просты по конструкции и быстропереналаживаемы, однако обладают относительно невысокой производительностью и помехоустойчивостью, поэтому их рекомендуется устанавливать в помещениях с невысоким уровнем вибраций.

В станках с фиксированной плоскостью колебания оси вращения ротора за один пуск последнего можно определить дисбаланс в двух плоскостях коррекции по колебаниям двух подшипников; при этом точность измерения мало зависит от внешних вибраций [46].

В СССР изготавливается гамма универсальных станков (мод. 9712, 9713, 9714, 9716, 9717, 9718, 9719, 9719б) для динамической балансировки роторов массой от 0,03 до 30 тыс. кг с точностью 1—2 мкм. Для повышения точности балансировки станки снабжены комплектом приводных муфт, а для повышения технологических возможностей — призматическими опорами, позволяющими производить с необходимой точностью балансировку роторов на собственных подшипниках качения.

Универсальные станки, применяемые в единичном и мелкосерийном производстве, определяют значения дисбаланса ротора с достаточной точностью, быстро и в удобном виде без дополнительных вычислений.

Для уменьшения неуравновешенности и вибрационных явлений в машинах производят балансировку в сборе на специальных станках, представляющих собой особый виброустойчивый стенд, снабженный мягкой пружинной подвеской; в процессе работы машины с помощью виброизмерительной аппаратуры определяют амплитуду колебаний в плоскости измерения дисбаланса. Для возможности проведения корректировки масс в таких машинах предусмотрены специальные элементы.

При балансировке многих машин и механизмов необходимо учитывать также связь ротора с основным валом на месте установки. Так, исследованиями [28], например, показано, что в результате балансировки ротора турбин и генераторов на специальных разгонно-балансировочных стендах даже при рабочих скоростях вращения может не только не уменьшиться, но даже увеличиться неуравновешенность ротора при его эксплуатации, если не соблюдать определенных условий, учитывающих эффект присоединения ротора к системе валопровода.

Для многих машин и агрегатов шахтных стационарных машин, крупных паровых турбоагрегатов и т. д. производят балансировку на месте их установки в условиях эксплуатации. При балансировке изделий в сборе и в условиях эксплуатации ис-

пользуют виброизмерительную аппаратуру, позволяющую определить амплитуду и фазу вибрации подшипников и роторов в различных сечениях, а также проводить гармонический анализ колебаний. Характеристика некоторых отечественных приборов приведена в работе [57]. Из зарубежных устройств следует отметить измерительно-балансирующие приборы типа SWM-2 фирмы «Gebr. Hofmann KG» (ФРГ).

Балансировка роторов позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики машин. Например, повышение уравновешенности составных частей некоторых машин на 10 % приводит к увеличению их выходной мощности на 10 % и срока службы на 25—100 %, а рациональная балансировка деталей и сборочных единиц металлорежущих станков может повысить стойкость инструмента в 5 раз [46].

Сборка зубчатых и червячных передач. Зубчатые и червячные передачи являются наиболее распространенными составными частями изделий, а достижение точности их сборки, особенно крупных, в условиях единичного и мелкосерийного производства часто представляют большие трудности. При этом цилиндрические зубчатые передачи внешнего зацепления составляют в конструкции машин и механизмов 75—80 % общего числа передач. Общие технические условия на контроль и испытания редукторов общего назначения приведены в ГОСТ 16162—78.

Требования к точности изготовления зубчатых передач зависят от условий их применения. Так, в делительных и планетарных передачах основным требованием является кинематическая точность (допустимая погрешность угла поворота зубчатого колеса за один оборот), в высокоскоростных передачах — плавность работы (отсутствие циклических погрешностей), в тяжело нагруженных тихоходных редукторах — полнота контакта сопрягаемых поверхностей зубьев, а в реверсивных отсчетных передачах — величина бокового зазора и ее колебание.

В условиях единичного и мелкосерийного производства наибольшую трудность представляет достижение норм контакта, регламентируемых соответствующими стандартами с помощью комплексных и поэлементных показателей, из которых комплексный показатель — пятно контакта является при проверке нормы точности наиболее наглядным, вследствие чего его рекомендуют как основной, особенно для крупных зубчатых передач. Однако регламентированное ГОСТом пятно контакта не дает представления о степени жесткости требований к точности сборки и является в основном качественным показателем. Поэтому для анализа собираемости зубчатых и червячных передач целесообразно в качестве замыкающего звена сборочной размерной цепи принимать зазор неприлегания сопряженных зубьев передач, соответствующий требуемому пятну контакта.

Клин неприлегания зубьев цилиндрической передачи, определяемый углом ψ между линиями пересечения поверхностей

зубьев и плоскостью зацепления, может характеризовать точность относительного расположения зубьев сопряженных колес (рис. 52).

Поскольку этот угол мал, то $\psi = \epsilon/B$, где ϵ — зазор неприлегания зубьев; B — длина зуба, но $\epsilon/B = \tau/a$, где τ — толщина слоя краски; a — расстояние между крайними точками следов прилегания.

Согласно ГОСТ 1643—72 суммарное пятно контакта по длине зуба (прямоугольные колеса)

$$Q = \frac{a-c}{B} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где c — разрывы в пятне контакта, превосходящие величину модуля.

Практика показывает, что в цилиндрических зубчатых передачах такие разрывы наблюдаются редко, что позволяет величиной c пренебречь, и тогда

$$\epsilon = \frac{\tau}{Q} \cdot 100 \%. \quad (9)$$

Пятно контакта для данной степени точности является величиной постоянной, не зависящей от ширины колеса. Поэтому из выражения (9) следует, что величина зазора неприлегания ϵ зубьев также не связана с шириной колеса и при постоянной толщине слоя краски зависит лишь от требуемой величины пятна контакта в передаче. Если требования к точности сборки зубчатой передачи выразить с помощью допускаемого клина неприлегания зубьев, легко оценить степень жесткости этих требований. Действительно, из выражений для ψ и ϵ получим $\psi = \frac{\tau}{QB} 100 \%$, откуда следует, что в пределах одной степени точности допустимый угол неприлегания имеет гиперболическую зависимость от ширины колеса. На рис. 53, а в качестве примера показана зависимость $\psi = f(B)$ для 7-й степени точности при $\tau = 0,005$ мм.

Таким образом, требования к точности сборки крупных зубчатых передач более жестки по сравнению с передачами средних и тем более мелких размеров. Как видно из рис. 53, а, осо-

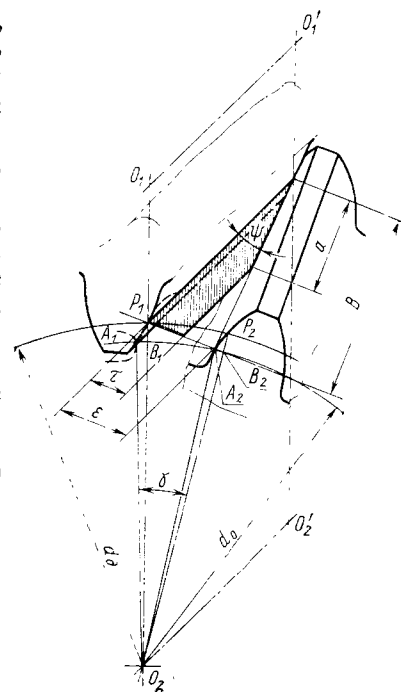


Рис. 52. Схема сопряжения зубьев парных колес цилиндрической зубчатой передачи

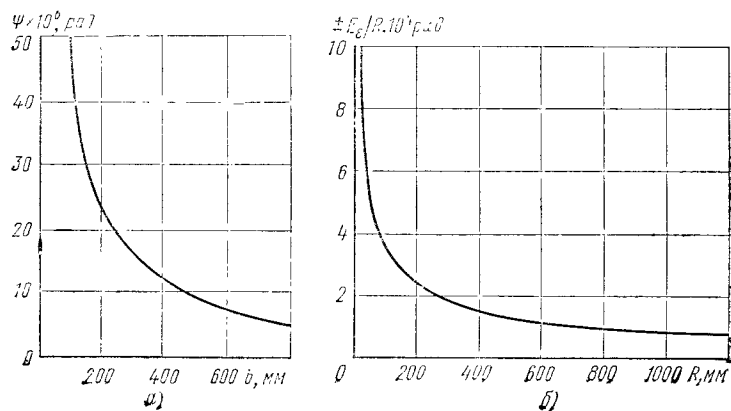


Рис. 53. Зависимость допустимых величин угла неparallelизма зубьев от ширины колес при сборке цилиндрических передач (а) и допустимых отклонений межосевого угла от среднего конусного расстояния при сборке конической передачи (б)

бенно (почти в 7 раз) ужесточаются требования к точности сборки зацеплений, имеющих ширину колес 100—700 мм.

Аналогичные выводы можно сделать, если проанализировать степень жесткости технических требований к точности сборки конических передач и прежде всего предельных отклонений межосевого угла $\pm E_\Sigma$ и межосевого расстояния f_a по СТ СЭВ 186—75. Допуски E_Σ , выраженные в линейных величинах, с увеличением среднего конусного расстояния, т. е. с увеличением габаритных размеров передачи, расширяются.

Однако для оценки степени жесткости требований к сборке конической передачи следует рассматривать допуск на межосевой угол, т. е. на взаимное расположение сопрягаемых зубьев, в угловых величинах. Для этого рассмотрим зависимость допустимых отклонений межосевого угла в радианах, т. е. величины $\pm E_\Sigma/R$ от среднего конусного расстояния R (рис. 53, б). Как видно из полученного графика (кривая построена для передач с углом делительного конуса шестерни от 15 до 25° при средних значениях R в интервалах, приведенных в СТ СЭВ 186—75), с увеличением габаритных размеров конической передачи допустимые погрешности относительного расположения зубчатых колес уменьшаются. Аналогичную картину можно получить для допустимых величин отклонений межосевого угла f_α , приведенных к среднему конусному расстоянию R .

Вместе с тем по ГОСТ 2110—72 соответствующие допуски на точность горизонтально-расточных станков, на которых обрабатывают отверстия корпусов, с увеличением диаметра расточного шпинделя и габаритных размеров станка не только не снижаются, но по некоторым параметрам даже расширяются.

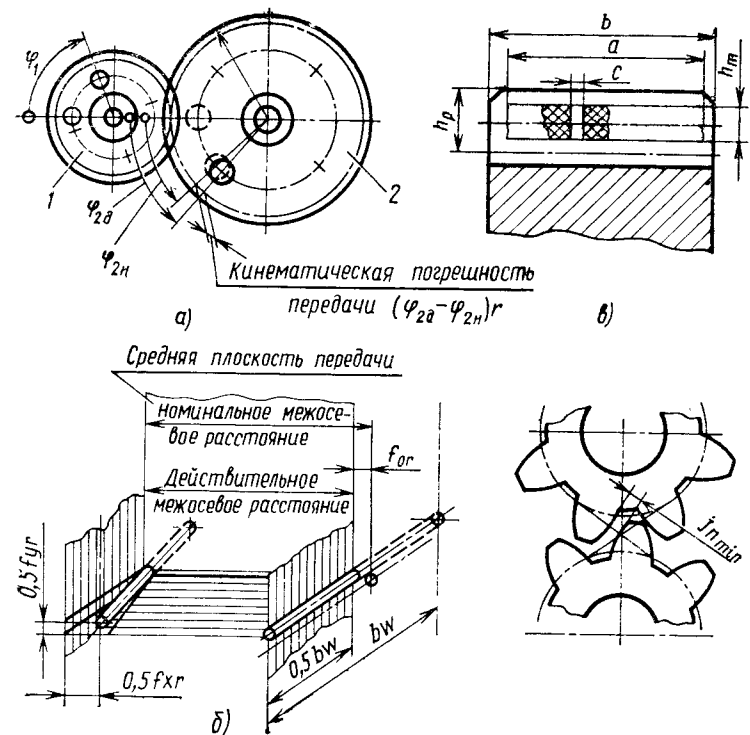


Рис. 54. Точностные параметры, обеспечиваемые при сборке цилиндрических зубчатых передач:

а — кинематическая погрешность; б — переко и отклонение от параллельности осей отверстий; в — суммарное пятно контакта; г — гарантированный боковой зазор

Следовательно, из-за ужесточения требований к взаимному расположению зубчатых колес с увеличением габаритных размеров передачи и одновременным снижением точности станков, используемых для обработки корпусов, в крупных конических передачах значительно труднее обеспечить необходимую точность сборки.

Точность сборки цилиндрической зубчатой передачи, характеризуемая показанными на рис. 54 параметрами, определяется несколькими размерными цепями, одна из которых, определяющая неparallelизм (контакт) по длине [18], приведена на рис. 55. Как видно из этой схемы размерной цепи, собираемость зубчатой пары определяют следующие погрешности и неточности изготовления и сборки: β_1 и β_{11} — погрешности направления зубьев (или погрешности осевых шагов) колеса и шестерни; β_2 — переко зубчатого колеса относительно оси вала при запрессовке; β_4 , β_5 , β_8 , β_9 — относительные повороты осей валов, обусловленные эксцентриситетами наружных колец подшипни-

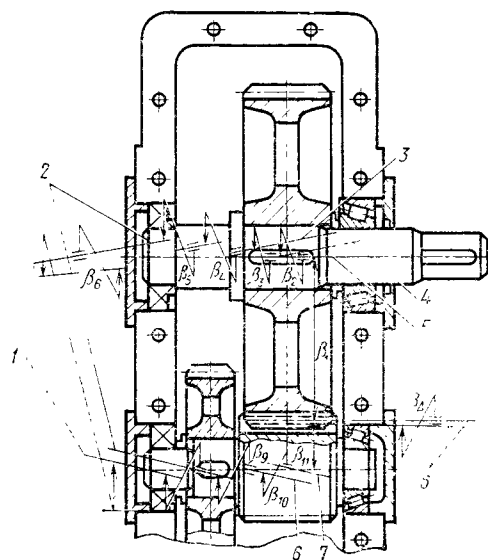


Рис. 55. Схема сборочной размерной цепи, определяющей относительный поворот зубьев сопрягаемых цилиндрических колес:

1 — оси вращения шестерни и колеса; 2 — оси опорных шеек валов; 3 — оси посадочной шейки вала и колеса; 4 — ось отверстия колеса; 5 — линии пересечения боковых поверхностей зубьев с поверхностью зацепления; 6 — ось вал — шестерня; 7 — общие оси отверстий в корпусе под опоры валов

ков; β_3, β_{10} — относительные повороты осей валов, обусловленные биениями шейки под зубчатое колесо и шестерни относительно шеек под подшипники; β_6, β_7 — перекос и отклонение от параллельности осей отверстий в корпусе редуктора.

Точность этих параметров проверяют перед сборкой. Наибольшую трудоемкость представляет контроль перекоса, отклонения от параллельности осей отверстий и межосевого расстояния в корпусе из-за широкого разнообразия изготавливаемых редукторов по габаритным размерам в единичном и мелкосерийном производстве.

Наиболее целесообразно для комплексного контроля относительного расположения осей отверстий в корпусе применять прибор «Центратор» конструкции НИИПТмаша (рис. 56).

Для базирования прибора по торцу детали используют пластины 15, а для закрепления в контролируемом отверстии — выступы

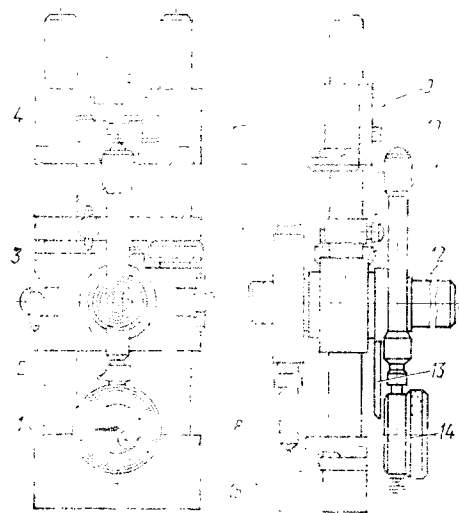


Рис. 56. Прибор «Центратор» для комплексного контроля относительного расположения осей отверстий в корпусе

14 неподвижной стяжки 1 и прихват 5, размещенный в подвижной стяжке 4, с зажимами 9 и 10. Для совмещения (центрирования) шпинделя 12 с осью отверстия шпиндель перемещают в поперечном направлении по штангам 2 с помощью рычага 13, а корпус 3 (вместе со шпинделем) в продольном направлении маховиком 6. Контроль положения шпинделя относительно оси отверстия осуществляют с помощью измерительного наконечника на удлинителе 8 и индикатора 7, для чего их вместе со шпинделем вращают вручную, поворачивая упругий шток 11. При сцентрированном шпинделе стрелка остается неподвижной относительно шкалы.

Для измерения межосевого расстояния, отклонения от параллельности и перекоса осей отверстий два описываемых прибора попеременно устанавливают в отверстиях одноименных стенок корпуса. С помощью микроштихмаса определяют межосевое расстояние как сумму расстояния между контрольными шейками шпинделей и диаметра шпинделя. Таким же образом снимают отсчет при установке приборов в отверстиях противоположной стенки. Отклонение от параллельности осей отверстий определяют как разность между отсчетами.

Для определения перекоса используют регулируемый уровень мод. 107 московского завода «Калибр», который устанавливают на трубу, помещаемую на контрольные шейки двух приборов. Перекос осей отверстий
$$f_{yc} = \frac{A(\Delta_1 - \Delta_2)}{B + 180},$$
 где A — межосевое расстояние контролируемых отверстий; Δ_1 и Δ_2 — отсчеты по уровню, снятые при установке приборов в первой и второй стенках корпуса; B — ширина корпуса; 180 — постоянная прибора мм. Суммарная погрешность прибора «Центратор» 0,008—0,012 мм.

Проведенные вероятностным методом расчеты рассмотренной размерной цепи β , определяющей нормы точности зубьев цилиндрических передач по длине, показали, что добиться требуемой точности замыкающего звена методом взаимозаменяемости при экономически достижимых в условиях единичного и мелкосерийного производства пределах точности обработки затруднительно. Этим объясняется появление при сборке больших объемов пригоночных работ на зубьях с целью достижения требуемых норм контакта, что не может быть признано нормальным из-за искажения эвольвенты зуба.

Для обеспечения полноты контакта в таких зубчатых зацеплениях целесообразно предусматривать конструктивную или технологическую компенсацию. В целях конструктивной компенсации в редукторах могут быть применены, например, эксцентричные стаканы-опоры подшипников.

Опыт Электростальского завода тяжелого машиностроения (ЭЗТМ) показывает, что в редукторах, имеющих колеса с закаленными зубьями, для технологической компенсации погреш-

ностей составляющих звеньев размерной цепи удобно применять зубошлифование по результатам контрольной сборки сопрягаемых колес на специальном стенде. В редукторах с улучшаемыми колесами для указанной цели может быть использован метод растачивания отверстий корпусов по результатам контрольной сборки зацепления на стенде, для чего используется описанный выше прибор «Центратор». В этих случаях применяют специальные универсальные стенды (например, конструкции ЭЗТМ или НИИПТмаша), позволяющие установить с необходимой точностью сопрягаемые зубчатые колеса для получения правильного зацепления, после чего определяют получаемые при этом точностные параметры для технологической компенсации: при зубошлифовании — погрешности направления зубьев одного из сопрягаемых колес, а при растачивании отверстий в корпусе — отклонение от параллельности и перекос их осей.

Аналогичные стенды мод. MR-380, состоящие из двух установочных плит, на которых расположены два подвижных и два неподвижных суппорта с роликовыми люнетами изготавливает фирма «МААГ» (Швейцария); стенды оснащены гидравликой, измерительными балками с уровнем, микрометрическими и индикаторными устройствами с диапазоном измерений до 3800 мм и установочными клиньями. Валы с зубчатыми колесами массой до 50 т располагают на установочных башмаках люнетов и легко приводят во вращение от руки, а настройку зубчатой передачи и контроль относительного расположения осей валов производят быстро с точностью до 0,01 мм.

Если в рассмотренной размерной цепи φ (с. 23), определяющей неприлегание по длине зубьев конической передачи ролганга из-за отклонения межосевого угла (см. рис. 4), пренебречь погрешностями подшипников, а коэффициенты относительного рассеяния погрешностей и передаточные отношения составляющих звеньев принять соответственно $\lambda_i = 1,2$, $\xi_i = 1$ (последнее для цепи получается, если все погрешности φ_i отнести к единой базовой длине L), то средние допуски $\delta_{cp} = \frac{\delta_{\Delta}}{1,2 \sqrt{m-1}}$

(m — число звеньев) для зацепления составляют $\varphi_{cp} = \frac{0,095}{1,2 \sqrt{6}} \approx$

$\approx 0,03/L$ мм/мм; $B_{cp} = \frac{0,022}{1,2 \sqrt{7}} \approx 0,007$ мм и, следовательно, являются жесткими.

Поэтому целесообразно в обеих размерных цепях предусмотреть компенсацию погрешностей [например, для цепи B — путем установки на плоскостях b набора прокладок, а в цепи φ — с помощью зазора между плоскостями b и g (см. рис. 4, в)].

Совпадение вершин делительных конусов и гарантированный боковой зазор в зацеплении конических колес, как правило,

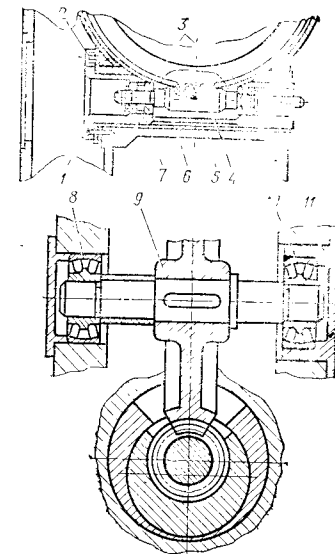
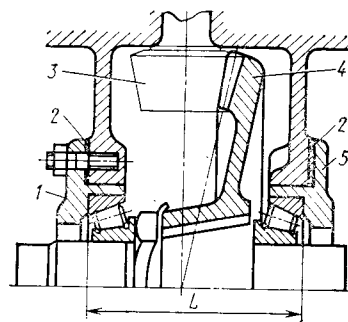


Рис. 57. Схема регулирования осевого положения колес конической передачи и подшипниковых опор

Рис. 58. Червячная передача с устройством-компенсатором погрешностей составляющих звеньев

обеспечивают методом регулирования, для чего предусматривают звено-компенсатор в виде набора прокладок или регулировочных гаек. Регулирование производят путем осевого перемещения одного или обоих колес. При использовании регулировочных гаек с шагом резьбы P для смещения колеса на величину l гайку необходимо повернуть на $\frac{l}{P}$ оборотов, изменение бокового зазора при этом составит

$$2l \sin \omega \sin \varphi,$$

где ω — угол зацепления; φ — угол начального конуса колеса.

Для сокращения объема регулировочных работ одно из зубчатых колес устанавливают по заранее вычисленной координате его базового торца относительно оси сопрягаемого колеса или базовой плоскости корпуса, а зазор в зацеплении регулируют перемещением второго колеса.

Если в конической передаче одновременно с регулированием осевого положения зубчатых колес такую же операцию необходимо произвести и для конических подшипников опор (рис. 57), сначала регулируют осевой зазор последних, используя набор прокладок 2 между стаканами 1 и 5 и корпусом в обеих опорах, а затем, оставляя общую толщину прокладок неизменной, перераспределением их числа между обоими опорами добива-

ются правильного осевого положения колеса 4 относительно оси шестерни 3 [44].

Регулировку осевого зазора в подшипниках опор червячных передач осуществляют аналогично коническим передачам, определяя при этом общую толщину набора прокладок. После этого прокладки убирают, червячное колесо (с валом) смещают до упора в поверхность червяка и измеряют зазор между торцом корпуса передачи и крышкой. Затем смещают колесо в противоположную сторону до упора в поверхность червяка и снова определяют величину указанного зазора, после чего между крышкой и корпусом в рассматриваемый зазор устанавливают набор прокладок толщиной, равной среднему арифметическому измерению, а остальные прокладки набора устанавливают в другой опоре.

Хотя достижение точности сборки конических редукторов по параметрам f_a и E_s чаще всего обеспечивают методами полной или неполной взаимозаменяемости, во многих случаях при изготовлении конических редукторов в единичном и мелкосерийном производстве, особенно крупных, выгоднее применять конструктивную компенсацию погрешностей по всем точностным параметрам (см. рис. 7, д).

Аналогично могут компенсироваться погрешности изготовления червячных передач, для чего червячный редуктор (рис. 58) после доработки конструкции [А.с. № 245510 (СССР)] имеет червячное колесо 9 с опорами 8 и 10, находящееся в зацеплении с червяком 4, закрепленным в опорах 3 на самоустанавливающихся подшипниках, которые помещены в эксцентричных втулках 5 и 6, соединенных с корпусом 7 винтами 2 и штифтами 1. Одна из опор 10 червячного колеса установлена в эксцентричной втулке 11.

Регулировку правильности зацепления осуществляют следующим образом. Для ликвидации погрешности угла между осями вращения червяка и червячного колеса эксцентричную втулку 11 с опорой 10 поворачивают относительно корпуса на некоторый угол до достижения требуемого положения осей червячного колеса и червяка. Для ликвидации смещения оси червяка относительно оси симметрии колеса втулку 5 с червяком поворачивают на соответствующий угол (при этом втулка 6 остается неподвижной). Для изменения межосевого расстояния в передаче втулку 6 поворачивают относительно корпуса. После этого втулки 5 и 6 крепят винтами 2 к корпусу и фиксируют от произвольного поворота штифтами 1.

Ряд фирм для повышения точности сборки и сокращения затрат на изготовление редукторов применяют компенсацию погрешностей составляющих звеньев за счет самотвердеющей эпоксидной композиции, подаваемой после регулировки зацепления в зазор между отверстиями корпуса и стаканами, в которые устанавливают подшипники одного из валов (диаметр от-

верстия корпуса под эти подшипники выполняют на несколько миллиметров больше наружного диаметра стаканов). Благодаря применению пластмассового компенсатора не требуется точная обработка корпусов.

Поступающие на сборку зубчатые или червячные колеса и другие детали передач должны быть полностью обработаны, промыты и высушены. Рабочие поверхности зубьев не должны иметь заусенцев, забоин, задиров, царапин и других повреждений.

При сборке зубчатых передач выполняют следующие основные операции:

а) контроль погрешностей формы, размеров и расположения сопрягаемых поверхностей зубчатых колес, валов и корпусов редукторов; б) установку зубчатых и червячных колес на валах; в) установку валов в сборе с колесами в корпус; г) регулирование зацепления; д) контроль, обкатку и испытания собранного механизма.

Перед установкой на валах (или перед обработкой зубьев) производят сборку венца со ступицей составных зубчатых и червячных колес, после чего проверяют биение венца в центрах на оправке. Запрессовывание зубчатых колес осуществляют на прессующих установках, прессах, установках ТПЧ или вручную с помощью специальной мягкой оправки или молотка (для небольших колес). При этом добиваются точного направления зубчатого колеса и отсутствия перекоса. Изготовление регулировочных прокладок для регулирования осевого положения валов зубчатых и червячных передач удобно производить на специальных установках (см. выше).

При сборке зубчатых и червячных передач и редукторов контролируют боковой зазор, пятно контакта, расположение осей вращения относительно опорных плоскостей, взаимное расположение контуров корпуса и крышки, уравновешенность зубчатых колес.

В редукторах общего назначения литые зубчатые колеса с частотой вращения свыше 500 об/мин подвергают статической балансировке, требования к точности которой регламентированы ГОСТ 16162—78. В крупных редукторах (прокатных станов, шахтных машин и т. п.) из-за значительных масс вращающихся частей зубчатые колеса подвергают статической балансировке при значительно меньших скоростях.

Контроль дисбаланса зубчатых колес при сборке редукторов наиболее целесообразно выполнять с помощью универсальных устройств типа УСБ (см. выше).

В единичном и мелкосерийном производстве боковой зазор при сборке зубчатых и червячных передач измеряют с помощью шупа или свинцовых оттисков. Для определения бокового зазора с помощью свинцовых оттисков между нерабочими поверхностями зубьев сопрягаемых колес укладывают свинцовую про-

волоку диаметром $(1,5-2)j_{\text{п min}}$ ($j_{\text{п min}}$ — величина гарантированного бокового зазора по ГОСТ 1643—72), предварительно смазанную техническим вазелином, и передачу прокручивают на угол, обеспечивающий выход оттиска из зоны зацепления. Боковой зазор равен толщине полученного оттиска.

В процессе сборки зубчатых и червячных передач производят контроль суммарного пятна контакта (см. рис. 54, в), получаемого как часть активной боковой поверхности зуба зубчатого или червячного колеса, на которой располагаются следы прилегания его с зубьями парного колеса (или червяка) после вращения собранной передачи при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование зубьев.

Чаще всего пятно контакта определяют по краске. Для этого перед проверкой рабочие поверхности зубьев обрабатывают уайт-спиритом (ГОСТ 3134—78), на зубья шестерни с помощью тампона из плотной ткани наносят слой краски толщиной 4—6 мкм, производят обкатку зацепления при легком притормаживании и по отпечаткам краски на зубьях сопряженного колеса определяют суммарное пятно контакта, используя формулу (8). В червячных передачах краску наносят на зубья червяка. В качестве краски используют: свинцовый сурик, турнбулевую синь (смесь раствора двухвалентного железа с раствором красной кровяной соли), берлинскую лазурь (смесь раствора хлорного железа с раствором желтой кровяной соли), голландскую сажу и др. При подборе краски стремятся к использованию тех цветов, которые контрастируют с цветом поверхности.

Поскольку измерение пятна контакта по краске в значительной мере зависит от субъективных факторов и требует особого навыка в нанесении краски, измерении и оценки результатов, при сборке точных передач пятно контакта определяют по натирам (бликам), т. е. по следам приработки после некоторого периода работы передачи, в процессе которой зубья колес поливают профильтрованным керосином. Сборка редуктора завершается установкой уплотнений, прокладок и крышек.

Свинчивание болтов крепления крышек подшипников, а также корпусов и крышек редукторов, имеющих разъем, целесообразно осуществлять с помощью гайковертов, установленных на стойках с балансирной подвеской.

В собранном редукторе валы должны проворачиваться легко, плавно, без заеданий.

Сборка опор с подшипниками качения. При сборке подшипниковых опор необходимо обеспечить требования как к нормальной работе самих подшипников, так и к точности положения осей вращения валов в этих опорах.

Для нормальной работы подшипников углы перекоса их после сборки не должны превышать определенных величин (наиболее жесткие требования предъявляются к подшипникам с цилиндрическими роликами, наименее чувствительны к перекосу

сам самоустанавливающиеся подшипники — даже в многоопорных сборочных единицах с самоустанавливающимися подшипниками допустим некоторый, порядка 2—3°, поворот корпуса вокруг центра самоустановки подшипника); ограничивается также температура их нагрева во время эксплуатации.

Из технических требований, регламентирующих точность положения осей вращения, наиболее часто указывают радиальное и осевое биение валов, а также перекося и отклонение от параллельности осей вращения ведущего и ведомого валов зубчатых и червячных передач.

В процессе подготовки подшипниковых опор к сборке производят распаковку подшипников, промывку, сушку и контроль погрешностей формы, размеров и расположения сопрягаемых поверхностей подшипников, вала, торцовых крышек и корпуса.

Контроль сопрягаемых с подшипниками поверхностей деталей осуществляют предельными скобками, микрометрами, индикаторными и микрометрическими нутромерами, универсальными приспособлениями. Особенно высокие требования предъявляют к точности изготовления конусных цапф вала, которые в необходимых случаях пригоняют по конической поверхности отверстия.

Проверяют также погрешности валов, форму (овальность и конусообразность) посадочных мест, торцовое биение заплечиков, перпендикулярность торцов корпуса оси отверстия, параллельность опорной и упорной поверхностей крышек, соосность отверстий в корпусе. При сборке подшипниковых опор с разъемными корпусами и рамами (например, в редукторах, рольгангах прокатных станов и т. д.) для правильной сборки необходимо обеспечить отсутствие деформаций наружного кольца и прилегание его к поверхности отверстий в корпусе.

Комплексные исследования [21] собираемости сборочных единиц с подшипниками качения, устанавливаемыми в разъемные корпуса, показали, что на точность сборки таких узлов не оказывают существенного влияния смещение осей отверстия относительно плоскости разреза в тех пределах, которые обычно получаются при обработке их на станках, и последовательность затяжки болтов, скрепляющих корпус и крышку. Серьезное значение приобретают деформации корпусов и крышек, вызванные перераспределением значительных внутренних остаточных напряжений в массе материала этих деталей.

Как явствует из эпюры напряжений, построенной по результатам тензометрических исследований и показанной на рис. 59, наружные кольца подшипников испытывают напряжения сжатия в основном на участках, прилегающих к плоскости разреза. Однако, как свидетельствуют результаты опытов, при изготовлении сопрягаемых поверхностей (наружные кольца подшипников и отверстия разъемных корпусов) в пределах установленных допусков, а также при проведении достаточно

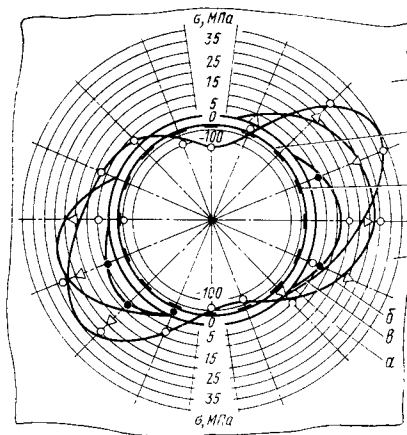


Рис. 59. Эпюра напряжений в наружном кольце подшипника при монтаже его в разъемный корпус, изготовленный по различным технологическим маршрутам:

a — без промежуточной термической обработки; *b* — с раздельной промежуточной термообработкой основания и крышки; *в* — с термообработкой основания и крышки в сборе
1 — основание корпуса; 2 — тензодатчик; 3 — наружное кольцо подшипника; 4 — крышка

полной термической обработки корпусных деталей напряжения, испытываемые наружными кольцами подшипников, значительны, и они не приводят к заметному искривлению формы дорожек качения. Это подтверждается также результатами сравнения формы внутренней поверхности колец, записанных после сборки с помощью прибора «Центратор», с его круглограммой, полученной в свободном состоянии кругломером мод. 218 завода «Калибр»; расхождение не превышало 0,01 мм, т. е. не выходило за пределы погрешностей прибора. Особенно хорошие результаты были получены при совместной термической обработке корпуса и крышки; напряжения сжатия в этом случае не превышали 12—15 МПа.

Для уменьшения коробления корпусов из-за перераспределения внутренних остаточных напряжений и повышения точности формы отверстий и их относительного расположения необходимо производить термический отпуск, а для разъемных корпусов — промежуточную (после черновой обработки отверстий и плоскостей разъема) термическую обработку в сборе. В крупных разъемных, недостаточно жестких корпусах для предотвращения «закусывания» подшипников на монтаже или в эксплуатации перед установкой их в разъемные корпуса производят развалку (расшавривание) поверхностей полуотверстий в местах разъема. Толщина снимаемого слоя у поверхности разъема, а также высота, на которой он сходит на нет, не должны превышать соответственно при диаметре подшипников: до 260 мм — 0,1—0,15 и 15 мм, от 260 до 400 мм — 0,2 и 20 мм, от 400 до 700 мм — 0,3 и 30 мм, от 700 до 1000 мм — 0,4 и 40 мм. Полноту прилегания крупных подшипников к посадочным местам в разъемных корпусах проверяют с помощью калибра и краски (отпечатки краски должны составлять не менее 75 % общей посадочной площади). В разъемных корпусах

не допускаются зазоры более 0,03—0,05 мм между основанием и крышкой, поэтому с помощью щупа проверяют плотность и равномерность их прилегания.

В условиях единичного и мелкосерийного производства запрессовывание подшипников на вал производят с помощью ручных, пневматических или гидравлических прессов и переносных универсальных установок — скоб, с предварительным нагревом подшипников или путем подачи в зону сопряжения масла под высоким давлением.

Во всех устройствах и прессах для запрессовывания подшипников важнейшими являются механизмы, обеспечивающие правильное базирование подшипников и направление при сборке.

Если конец вала имеет резьбу, на ней закрепляют приспособления для запрессовывания — винтовое, пневматическое и гидравлическое, из которых наиболее простым и удобным является гидравлическая гайка (см. рис. 39), которую крепят к валу также торцовым винтом. Масло подают от насосной установки или пневмогидроусилителя. Этот способ применяют для установки на валах крупногабаритных подшипников в опорах с закрепительными и буксовыми втулками, с резьбой на конце вала, с коническим сопряжением.

При установке подшипников на вал любым способом усилие запрессовки прикладывают только к внутреннему кольцу, равномерно распределяя его по торцу. Поскольку в единичном производстве небольшие подшипники могут запрессовываться с помощью молотка, для обеспечения точности сборки используют несложные оправки в виде трубы-надставки из мягкого металла, один конец которой заглушают пробкой, а вблизи другого конца прикрепляют фланец для предохранения от попадания в подшипник посторонних частиц.

Для осуществления тепловой сборки подшипниковых узлов в последнее время все чаще применяют индукционные установки ТПЧ (индукторы), которые вытесняют нагрев в электрических масляных ваннах из-за длительного нагрева в последних, значительного расхода масел и трудностей соблюдения требований промышленной санитарии.

Для обеспечения свободной установки подшипника на вал внутреннее кольцо подшипника должно быть нагрето до температуры

$$t_b = \frac{\delta + \Delta}{dk_{\alpha}} + t_0,$$

где δ — расчетный натяг в сопряжении подшипника с валом; Δ — сборочный зазор при посадке внутреннего кольца подшипника на вал; d — диаметр внутреннего кольца подшипника; k_{α} — коэффициент линейного расширения шарикоподшипниковой стали; t_0 — температура окружающей среды.

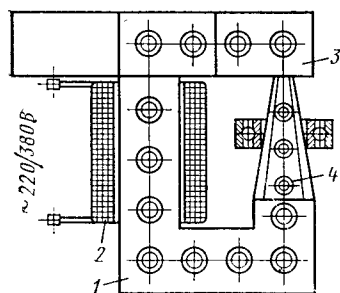


Рис. 60. Схема индукционно-нагревательной установки:

1 — неподвижный магнитопровод; 2 — индукционная катушка; 3 — ярмо; 4 — пирамидальный полюсный наконечник

Однако поскольку при индукционном нагреве внутреннее и наружное кольца подшипника представляют собой два независимых замкнутых контура, увеличение внутреннего диаметра подшипника может привести к выбору началь-

ного радиального зазора в подшипнике и заклиниванию шариков (роликов) или даже к разрушению колец, если нагрев наружного кольца подшипника не обеспечит необходимое увеличение диаметра беговой дорожки кольца. Во избежание этого необходимо, чтобы температурный перепад между внутренним и наружным кольцом не превышал допустимой величины [2]

$$\Delta t = \frac{q + 2k_{\alpha}d_{ш}(t_{в} - t_{ш})}{k_{\alpha}D_{н}},$$

где q — начальный радиальный зазор в подшипнике; $d_{ш}$ — диаметр шарика; $t_{в}$ и $t_{ш}$ — температуры нагрева внутреннего кольца подшипника и шарика; $D_{н}$ — диаметр беговой дорожки наружного кольца подшипника.

Поэтому в условиях единичного и мелкосерийного производства особенно рационально использовать в индукторе пирамидальные полюсные наконечники конструкции УЗПИ (рис. 60), которые не только дают возможность осуществлять нагрев подшипников различных габаритных размеров, но и обеспечить допустимый температурный перепад Δt . Наконечники изготовляют из трансформаторной стали и снабжают текстолитовыми накладками.

Запрессовывание подшипников с помощью масла, подаваемого под высоким давлением в сопряжение, применяют для установки крупногабаритных подшипников на валу в опорах с коническим и цилиндрическим сопряжением. Запрессовывание подшипников с подачей масла под давлением широко применяют многие отечественные машиностроительные заводы. Особенно эффективен этот метод для установки подшипников с коническим отверстием, где масло используется также для создания усилия запрессовки.

После сборки подшипниковых опор производят контроль и регулирование радиального и осевого зазоров подшипников с помощью регулировочных прокладок, устанавливаемых между торцевой крышкой и корпусом, дистанционных колец, распола-

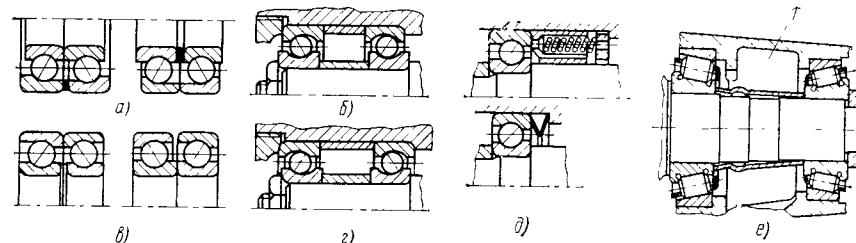


Рис. 61. Методы создания предварительного натяга в подшипниковых опорах

гаемых между наружными и внутренними кольцами спаренных подшипников, или с помощью винта или гайки, поджимающих наружное кольцо подшипника. При этом используют существующую для каждого типа подшипника зависимость между радиальным g_r и осевым s зазорами, например, для конических роликоподшипников с углом α конусности наружного кольца $g_r = c \operatorname{tg} \alpha$, зависимость между соответствующими параметрами регулировочных элементов и величиной осевого зазора (например, при регулировке винтом или гайкой с шагом P резьбы необходимый угол поворота $\varphi = 360 \frac{c}{P}$), а также таблицы допустимых пределов осевого зазора, которые зависят от типа подшипников, схемы установки их в узле и расстояния между ними.

При сборке прецизионных подшипниковых опор, например в станкостроении, для повышения их жесткости и уменьшения осевого и радиального биения валов в них создают предварительный натяг, для чего путем приложения постоянной осевой нагрузки принудительно смещают одно из колец подшипника на соответствующую этому натягу величину; в результате ликвидируется осевой зазор и создается начальная упругая деформация в местах контакта рабочих поверхностей колец с телами качения. При этом необходимо помнить, что хотя предварительный натяг значительно повышает точность вращения вала или шпинделя, но вместе с тем он приводит к увеличению потерь на трение, повышению температуры нагрева подшипникового узла и связанных с этим деформаций, что в конечном счете снижает долговечность подшипников.

Это предъявляет высокие требования к точности получаемой при сборке величины предварительного натяга, который создают с помощью прокладок (рис. 61, а), путем шлифования торцов колец двойных радиально-упорных шарикоподшипников (рис. 61, в), за счет распорных втулок разной длины (рис. 61, б и г), с помощью спиральных и тарельчатых (рис. 61, д) пружин, эластичных распорных втулок I (рис. 61, е). Иногда предварительный натяг создают путем дополнительного свинчивания на заранее определенный угол регулиро-

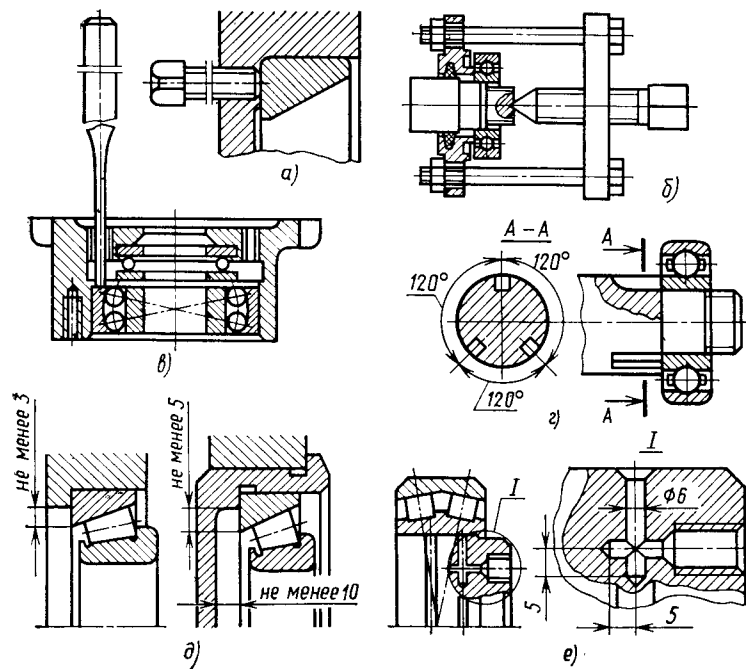


Рис. 62. Специальные технологические элементы в конструкциях опор для облегчения демонтажа подшипников

вочной гайки или крышки, а также за счет двух прокладок между кольцами, подшипников, одна из которых металлическая, а вторая из самотвердеющего клеящего материала, полимеризация которой после нанесения ее на торец кольца и сборки опоры происходит под осевой нагрузкой, обеспечивающей требуемую величину предварительного натяга [44].

Перед сборкой подшипниковых опор с предварительным натягом экспериментальным путем определяют расстояние между торцами колес, соответствующее требуемой величине натяга, для чего создают адекватную этому натягу нагрузку с помощью простейших приборов, например, за счет фиксированных грузов по ГОСТ 520—71.

При некачественной сборке подшипниковых опор производят демонтаж с помощью винтовых съемников, прессов, предварительного нагрева подшипника или охлаждения вала, гидрораспора; усилие при этом прикладывают к кольцу, установленному с натягом. Для облегчения демонтажа необходимо предусматривать специальные технологические элементы (рис. 62).

Сборка опор с подшипниками скольжения. При сборке опор

с подшипниками скольжения необходимо обеспечить требуемую величину гарантированного зазора между опорными шейками вала и рабочими поверхностями втулок подшипников, правильность расположения оси вращения относительно базовых поверхностей или осей, а также в требуемых пределах радиальное биение вала. При подготовке к сборке втулки, вкладыши и гнезда корпусов тщательно промывают и обдувают воздухом, поскольку попадание в соединение даже мельчайших посторонних частиц вызывает искажение формы подшипников.

Установку подшипников-втулок в корпус чаще всего производят с применением предварительного охлаждения их в жидком азоте, а также с помощью прессов, прессующих установок и скоб, виброударных и винтовых приспособлений.

При запрессовке втулок в охватываемые детали происходит уменьшение диаметра их отверстий за счет усадки. В результате этого неизбежна пригонка отверстий втулок путем ручного шабрения, требующего больших физических усилий слесаря-сборщика. Наиболее рациональным методом исключения или резкого сокращения шабровочных работ в данном случае является предварительное растачивание отверстий втулок на величину, равную их усадке при запрессовке.

Для удобства практического определения величины смещения поля допуска диаметра отверстия втулки, компенсирующего усадку в зависимости от размеров и материала сопрягаемых деталей, а также видов прессовых сопряжений разработана специальная номограмма (рис. 63). Как видно из номограммы, искомую величину определяют в зависимости от отношений $\frac{d_0}{d}$ и $\frac{d}{D}$, а также натяга в сопряжении втулки с охватываемой деталью, устанавливаемого по таблицам допусков.

В прецизионных подвижных соединениях в целях исправления возникающих в результате сборки погрешностей формы отверстий после установки в корпус втулки, обработанной без рассмотренной корректировки, производят ее растачивание.

Повышение точности отверстий в запрессованных втулках без предварительной корректировки размеров на величину усадки и обеспечение малой шероховатости поверхности отверстия могут быть достигнуты при совмещении процесса запрессовки втулок и обработки в них отверстий, для чего используют специальные устройства, например конструкции Могилевского машиностроительного института (рис. 64). Для этого на запрессовываемую в корпус 1 втулку 2 устанавливают прессующий элемент устройства — корпус 5 с гильзой 3, в окна которой расположены шарики 4. Хвостовик протяжки 6, дорна 10 или ротационной раскатки 11 вставляется в отверстие втулки и скрепляется захватным устройством протяжного станка.

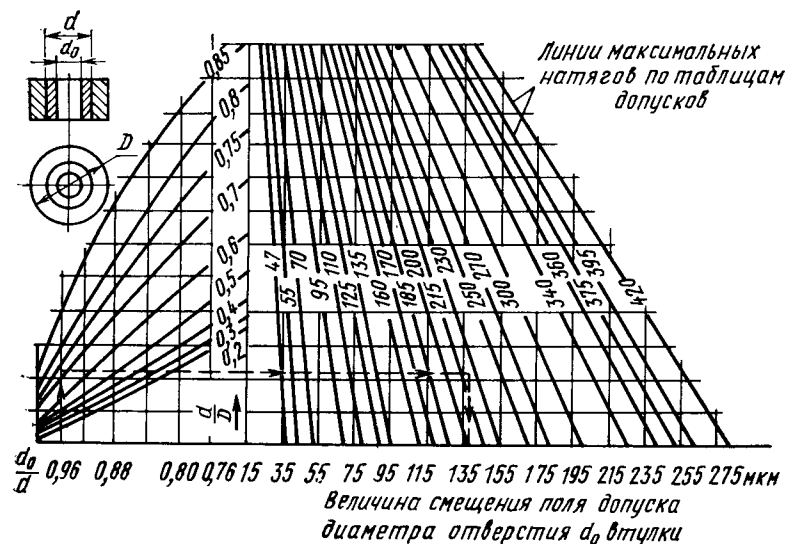


Рис. 63. Номограмма для определения усадки втулок при запрессовывании

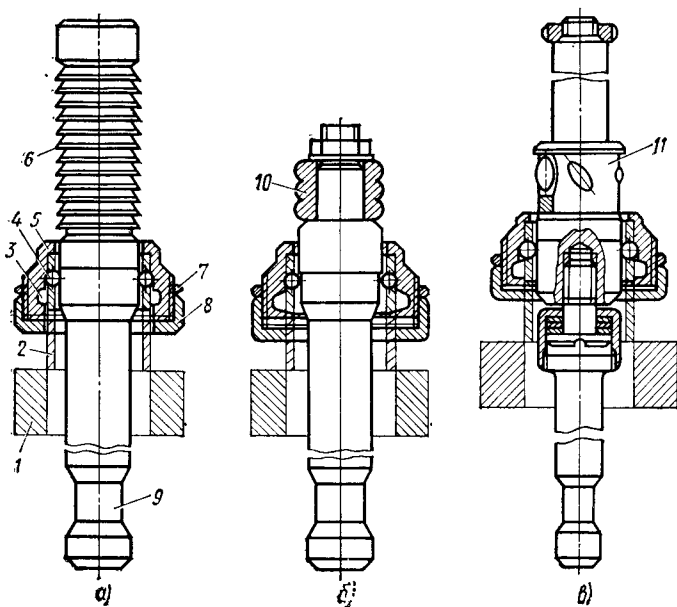


Рис. 64. Устройства, обеспечивающие совмещение процессов запрессовки подшипника и обработки в нем отверстия:
а — протягиванием; б — дорнованием; в — раскатыванием

При сообщении тягой 9 осевого перемещения протяжки ее коническая часть упирается в шарики и перемещает гильзу 3 до тех пор, пока гайка 8 не упрется в корпус 1, вызывая относительное перемещение гильзы 3 в крайнее нижнее положение. Шарики 4 попадают в выточку корпуса 5, обеспечивая свободное продвижение протяжки вниз, которая образует отверстие в уже запрессованной втулке. С помощью контргайки 7 фиксируется положение гайки 8, определяющей момент окончания процесса запрессовки.

Охлаждение подшипников-втулок жидким азотом производят в специальных ваннах. Учитывая разнообразную номенклатуру применяемых подшипников в условиях единичного и мелкосерийного производства, целесообразно использовать многокамерные ванны. Это позволяет использовать только тот объем бака, который достаточен для охлаждения необходимого числа втулок.

Обычно в производственных условиях критерием охлаждения деталей принято считать момент прекращения кипения жидкого азота, т. е. когда охлаждаемая деталь приобретает температуру, близкую к температуре хладагента. Однако практика показывает, что не всегда необходимо охлаждать охватываемую деталь (особенно втулки больших размеров) до температуры хладагента. Для сокращения непроизводительных затрат времени на охлаждение и уменьшение расхода хладагентов рекомендуется расчетным путем определять оптимальную выдержку детали в хладоносителе, обеспечивающую требуемую для свободной сборки соединения температурную усадку охватываемой детали. Для удобства практического использования такие зависимости целесообразно представлять в виде номограмм [22].

Для исключения задиров втулки перед механическим запрессовыванием покрывают смазочным материалом, а во избежание деформаций и обеспечения правильного направления используют оправки, приспособления и направляющие стойки.

В условиях единичного и мелкосерийного производства удобна установка (рис. 65) для механизированной запрессовки втулок в отверстия корпусных деталей (конструкции НИИПТмаша). Она представляет собой компактный агрегат, состоящий из насосной станции, установочного подъемника с консольной стрелой, механизма подъема и двух сменных гидроцилиндров силой 50 и 100 тс. Силовой гидроцилиндр 5, подключенный к насосной станции гибкими шлангами, устанавливают по оси отверстия корпусной детали с помощью механизма подъема стрелы подъемника. С помощью кулачков 13 цилиндр центрируют по отверстию детали и настраивают на необходимый размер по кольцевым рискам планшайбы 3. После этого на шток 2 цилиндра надевают запрессовываемую втулку и закрепляют ее с помощью закладной чеки 1 и гайки. За-

прессовывание втулки осуществляется силовым цилиндром после его включения с кнопочной станции 6.

Для запрессовывания втулок в труднодоступных местах или одновременного запрессовывания двух втулок в соосные отверстия цилиндры снабжены сменными удлинителями, которые навинчиваются на резьбовую часть штока.

Наличие сменных силовых цилиндров позволяет осуществлять запрессовывание втулок в широком диапазоне их диаметров (от 80 до 1000 мм).

В производственном объединении «Уралмаш» для запрессовки втулок больших диаметров (300—1500 мм) в отверстия станин конусных дробилок, экскаваторов и других машин применяют пневмударное приспособление (рис. 66). Втулку предварительно вручную запрессовывают в отверстие станины на 5—10 мм и выверяют перпендикулярность ее относительно горизонтальной плоскости станины, затем с помощью подъемного крана приспособление устанавливают на втулку и подключают его к сети сжатого воздуха. Через двухходовой кран 8 сжатый воздух (давление 0,5 МПа) поступает в полость А и поднимает массивный корпус 3 приспособления вверх по направляющим штангам 4. В это время давление сжатого воздуха на поршень 5 уравновешивается действием пружины 6,

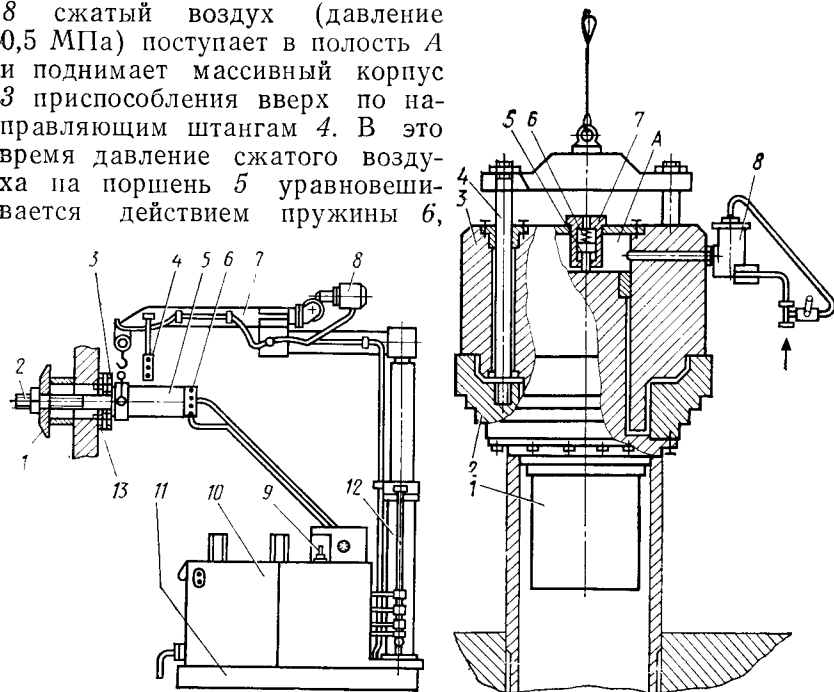


Рис. 65. Установка для механизированной запрессовки втулок: 1 — чека; 2 — шток цилиндра; 3 — планшайба; 4, 6 — кнопочные станции; 5 — силовой гидроцилиндр; 7 — стрела; 8 — механизм подъема; 9 — кран управления; 10 — насосная станция; 11 — основание; 12 — колонна подъемника; 13 — кулачки

Рис. 66. Пневмударное приспособление для запрессовки втулок

в результате чего отверстия для выхода воздуха в клапане-разряднике 7 перекрыты. После достижения в полости цилиндра заданной величины давления воздуха переключают кран 8 и соединяют нагнетающие полости крана и цилиндра с окружающей средой. Давление в полости А начинает быстро падать. В это же время срабатывает клапан-разрядник и открывает отверстие для выхода воздуха, что ускоряет падение давления в полости цилиндра. В результате этого корпус 3 падает вниз на опорное кольцо 2 и силой удара перемещает втулку в отверстие станины. Затем цикл повторяется. Запрессовка втулки осуществляется за несколько таких циклов.

Наличие ступенчатых проточек на центровке 1 и опорном кольце 2 приспособления позволяет запрессовывать втулки разных диаметров. Основным преимуществом таких приспособлений является простота конструкции и надежность в работе.

Для определения необходимых сил при запрессовке втулок (бронзовых, чугунных и стальных) и выбора соответствующего типоразмера силового цилиндра пользуются специальными номограммами.

При сборке опор с разъемными подшипниками скольжения важно обеспечить неподвижное соединение вкладыша с корпусом и полноту прилегания поверхностей вкладыша и отверстия в корпусе. При этом натяг не должен быть чрезмерным во избежание появления больших напряжений во вкладыше при затяжке подшипников. Поэтому перед установкой в корпус тщательно контролируют шероховатость, погрешности формы и взаимного расположения поверхностей вкладышей и отверстий в корпусе, а при установке точность прилегания часто обеспечивают пригонкой вкладышей.

Толстостенные вкладыши (отношение толщины к наружному диаметру 0,065—0,095) устанавливают в корпус по посадкам с небольшим натягом $\left(\frac{H7}{k6}, \frac{H7}{k6} \right)$ или по посадке $\frac{H7}{h6}$

(тщательно подбирая в пределах допусков) с помощью легких ударов по деревянной или из мягкого металла планке, накладываемой на обе плоскости вкладыша, а при закреплении крышек соблюдают необходимую последовательность и соответствующую степень затяжки гаек.

Для проверки полноты прилегания вкладыш устанавливают в корпус, на поверхность полуотверстия которого предварительно наносят равномерный слой краски (голландская сажа, берлинская лазурь), и несколько раз поворачивают на некоторый угол в обоих направлениях. Площадь прилегания сопрягаемых деталей, определяемая по отпечаткам краски на вкладыше, должна быть не менее 85% площади сопрягаемой поверхности, отпечатки должны располагаться равномерно, а их число на площади 25×25 мм должно составлять для подшип-

ников средней точности 12—16, выше средней точности 16—10 и высокой точности 20—25.

При установке толстостенных вкладышей (отношение толщины к наружному диаметру 0,025—0,045) плотность прилегания обеспечивается за счет упругого сжатия вкладыша, длина дуги которого больше длины дуги полуотверстия. Поэтому здесь строго контролируют высоту выступающей над плоскостью разъема корпуса части вкладыша специальными устройствами, но часто также по разности толщин свинцовых оттисков, полученных в соответствующих местах сопряжения.

После установки втулок и вкладышей в корпус их закрепляют от проворачивания с помощью штифтов, винтов и других конструктивных элементов и контролируют диаметр и форму отверстий индикаторными нутромерами.

При сборке сборочных единиц с подшипниками скольжения очень важно выдержать соосность отверстий в них, контроль которой осуществляют с помощью цельных или сборных макетных валов.

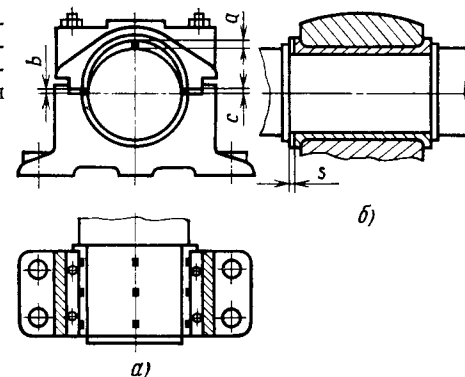
Для обеспечения соосности нескольких отдельно стоящих на большом расстоянии друг от друга крупных (диаметр более 200 мм) подшипников используют струну (стальная проволока диаметром 0,25—0,5 мм) с грузом, масса которого составляет 0,5—0,6 величины разрывного усилия струны. Контроль и регулировку осуществляют путем измерения расстояний натянутой струны от внутренней поверхности подшипников в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Точность измерения 0,05 мм. Для повышения точности струну и корпус включают в низковольтную электрическую цепь (от аккумуляторной батареи) с лампочкой, которая загорается при замыкании цепи штихмасом в результате касания струны и корпуса.

Более высокую точность контроля соосности таких подшипников обеспечивает применение автоколлиматора. Точность при этом особенно повышается (до 0,8 мкм на 1 м), если использовать лазерное устройство.

В мелкосерийном производстве толстостенные подшипники пригоняют по валу путем шабрения и проверки по краске. Для этого нижние вкладыши устанавливают в корпус и закрепляют прижимными приспособлениями, внутреннюю поверхность вкладышей покрывают тонким слоем краски, укладывают вал и проворачивают его на два-три оборота, проверяя отпечатки краски на вкладышах.

Проверку радиального зазора между вкладышем и валом осуществляют с помощью свинцовой проволоки, для чего предварительно смазанные отрезки ее закладывают в нескольких местах между вкладышем и шейкой вала и по разъему вкладышей производят сборку с затяжкой болтов и после разборки измеряют оттиски (рис. 67, а). Величину радиального зазора определяют как среднеарифметическую разницу между

Рис. 67. Схема определения радиального (а) и осевого (б) зазоров при сборке опор с разъемными подшипниками скольжения



толщиной a оттисков, уложенных на вал, и толщиной оттисков b и c , полученных в разъеме вкладышей. С помощью щупов измеряют также осевой зазор s (рис. 67, б).

Разновидностью подшипников скольжения являются подшипники жидкостного трения (рис. 68), при эксплуатации которых смазка увлекается втулкой-цапфой 5, установленной на шейке вала 15 и вращающейся во втулке-вкладыше 6, в клиновидный зазор между ними.

Сборка подшипников жидкостного трения весьма ответственна и выполняется в специальном помещении после строгой проверки качества изготовления составляющих их деталей (проверяют погрешности размеров и формы, шероховатость поверхности, отсутствие коррозии, царапин, забоин, заусенцев,

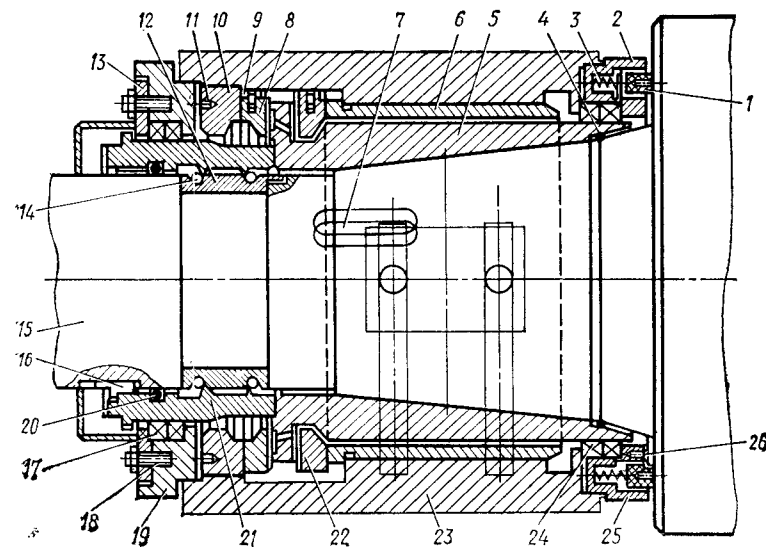


Рис. 68. Подшипник жидкостного трения с упорным узлом скольжения

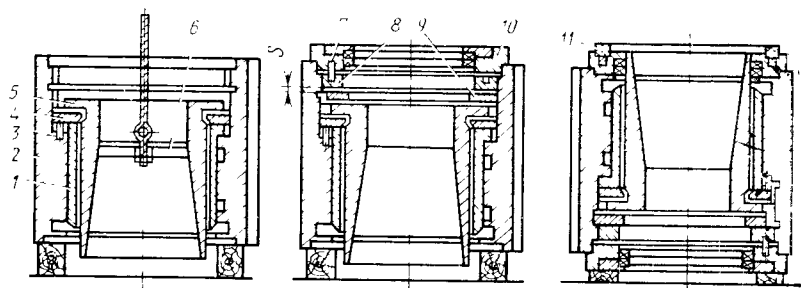


Рис. 69. Последовательность установки узлов и деталей при сборке подшипников жидкостного трения

рисок и т. п.), промывки в масле и бензине, сушки и покрытия тонким слоем специального масла.

После сборки узлов передней (детали 19, 11, 17, 13 и 18) и задней (детали 2, 3, 1, 25, 26 и 24) крышек осуществляют установку узлов и деталей подшипника в подушку 23 этих узлов, а также других деталей подшипников: резьбовых полуколец 12, упорных колец 8 и 22, гаек 10 и 21, шпонок 7, 9 и 16, пружин 14, уплотнительных шнуров 4 и 20.

Последовательность установки показана на рис. 69. Подушку 2 располагают на стеллаже в вертикальном положении и запрессовывают штифт 3, после чего в нее устанавливают втулку-вкладыш 1, совмещая паз на бурте втулки со штифтом. Затем в подушку заводят втулку-цапфу 5 с полукольцами 4 (для этого используют технологическую шайбу 6) и после установки упорного кольца 9 ввинчивают гайку 8 до упора. С помощью этой гайки обеспечивают осевой зазор (не менее 0,25 мм), свинчивая при этом ее в обратную сторону на соответствующую величину. Крышку 10 устанавливают таким образом, чтобы штифт 7 попал в отверстие гайки и зафиксировал ее от самоотвинчивания. Перекатовав подушку на 180°, устанавливают и крепят узел задней крышки 11.

После этого подшипник устанавливают на вал 15, предварительно установив в паз вала шпонку 7, а в кольцевую его выточку — резьбовые полукольца 12, которые скрепляют пружинами 14 (см. рис. 68).

После установки обоих подшипников контролируют равномерность прилегания уплотнительного кольца 1 (рис. 68) к бочке вала и пробное прокручивание последнего в подшипниках [54]. После сборки опор с подшипниками скольжения производят приработку сначала на малых нагрузках и частоте вращения, постепенно доводя их до номинальных. В процессе приработки происходит увеличение площади прилегания вкладышей к шейкам вала. Температура нагрева подшипников при

этом не должна превышать 60 °С. В зависимости от технических требований к изделиям после сборки подшипниковых узлов проверяют также радиальное и осевое биение вала, поступление масла в опоры, отсутствие схватывания вала при пуске и остановке, уровень шума. Подшипниковые опоры в изделиях высокой и особо высокой точности после испытания под нагрузкой разбирают, проверяют отсутствие задиров на рабочих поверхностях и промывают детали, после чего осуществляют окончательную сборку, регулировку подшипников и обкатку их под нагрузкой.

Испытания механизмов и машин. Испытания являются заключительной контрольной операцией технологического процесса изготовления продукции и проводятся на специальном контрольно-испытательном стенде. Испытания могут быть типовыми, приемо-сдаточными и специальными. Типовые испытания, предназначенные для подтверждения паспортных данных изделия, проводят в основном при освоении производства новой или модернизации изготавливаемой модели. В процессе приемо-сдаточных испытаний проверяют взаимодействие отдельных деталей и узлов, качество их изготовления и сборки. Для проверки работы новых машин и отдельных ее узлов и сопряжений, а также для определения изнашивания ответственных деталей проводят специальные испытания.

При испытаниях узлы и детали проверяют на растяжение и сжатие, твердость, жесткость, герметичность, термостойкость и т. д., применяя при этом различные виды нагрузок: механические, тепловые, биологические, электрические и т. п. Перед испытаниями под нагрузкой, как правило, проводят испытания на холостом ходу, где проверяют правильность взаимодействия сопрягаемых деталей и приработку трущихся поверхностей, т. е. обкатку. Частоту вращения деталей вначале назначают небольшую, постепенно доводя ее до минимальной.

Испытания позволяют выявить и устранить основные дефекты изготовления на заводе, в результате чего значительно сокращаются сроки монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования у заказчика, а также повышается его эксплуатационная надежность. Испытания не относятся к технологическому процессу сборки, поскольку здесь проверяется не только качество сборки узлов, но и качество изготовления изделия на всех стадиях производства.

Однако в условиях единичного и мелкосерийного производства испытательные операции включают в технологический процесс сборки, а испытательные стенды располагают рядом (или совмещают) со сборочными, что дает возможность с наименьшими затратами исправить погрешности. В тяжелом машиностроении контрольно-испытательные операции производят в очень ограниченном объеме. Работоспособность собранных машин и агрегатов проверяют в основном работой вхолостую или

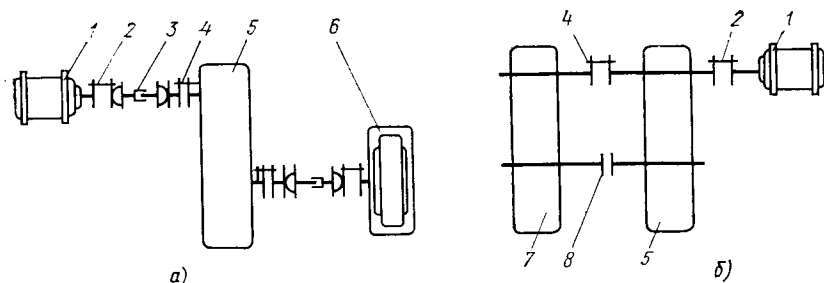


Рис. 70. Стенды с разомкнутой (а) и замкнутой (б) схемами нагружения: 1 — электродвигатель; 2, 4 — жесткие соединительные муфты; 3 — карданный вал; 5 — испытуемый редуктор; 6 — тормоз; 7 — вспомогательный редуктор; 8 — фрикционная муфта

при незначительной нагрузке. Отсутствие на заводах испытательных стендов и устройств для проверки крупных узлов и машин под соответствующей нагрузкой приводит к снижению их качества и надежности.

Недостаточная проверка работоспособности и качества изготовления машин вызывает дополнительные затраты при монтаже.

Большие габаритные размеры и мощность крупных изделий создают значительные трудности в проведении стендовых испытаний под нагрузкой в заводских условиях. В этих случаях обычно прибегают к узловой сборке и испытаниям каждого собранного комплекта в отдельности.

Испытания машин и узлов в условиях единичного и мелкосерийного производства производят на универсальных стендах. Наиболее распространенными сборочными единицами, подвергающимися испытаниям, являются редукторы и узлы с зубчатыми передачами.

Технологический процесс обкатки и испытания редуктора после сборки состоит из следующих операций: контроля суммарного пятна контакта и бокового зазора сопряженных зубчатых колес, притирки зубьев, обкатки в масле под нагрузкой, испытания. Обкатка и испытания позволяют приработать пары трения, выявить и устранить дефекты в процессе работы, обеспечить технические требования к сборке, повысить КПД и долговечность. В процессе обкатки уменьшаются шероховатость рабочих поверхностей зубьев и их циклические погрешности.

Обкатку производят на обкаточно-испытательных стендах с применением различных нагружателей (фрикционных, цепных, торсионных, электрических, гидравлических и др.), работающих по двум основным схемам нагружения — разомкнутой и замкнутой. На рис. 70, а показаны стенды, выполненные по разным схемам нагружения. В стенде с замкнутым циклом пе-

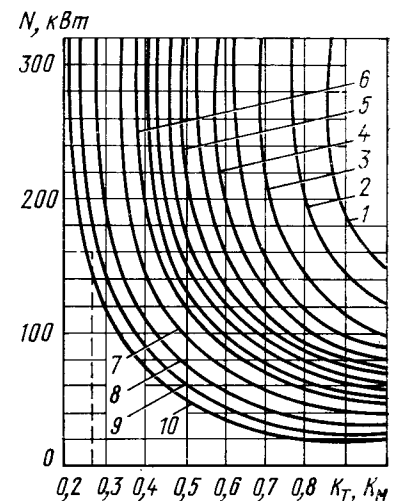


Рис. 71. Номограмма для выбора схемы обкаточно-испытательного стенда

Кривая 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 $л \Sigma$ 1600 1800 2000 2400 2800 3600 4000 4800 5600 6400

редаточные отношения испытуемого и вспомогательного редукторов отличаются на 1—3 %, благодаря чему выходные валы вращаются с разной скоростью, а за счет проскальзывания дисков фрикционной муфты происходит нагружение зубчатых пар.

При выборе стенда необходимо учитывать затраты на изготовление и эксплуатацию, надежность в работе, возможность плавного регулирования нагрузки и другие факторы.

Так, недостатком стенда с замкнутой схемой нагружения являются повышенные капитальные затраты, связанные с изготовлением ускорителей и приобретением сложной электроаппаратуры и системы смазывания, а стенд с разомкнутой схемой хотя и комплектуется только покупным оборудованием, но в нем вся потребляемая энергия расходуется на нагрев тормоза (в стенде, работающем по замкнутой схеме, вырабатываемая нагрузочным генератором электроэнергия потребляется приводным электродвигателем, вследствие чего энергия из сети дополнительно необходима лишь для преодоления сил трения в механической системе).

Для выбора приемлемой схемы стенда удобно воспользоваться рекомендациями ОСТ 24.894.01—74, разработанного НИИПТмашем для заводов тяжелого и транспортного машиностроения. На рис. 71 показана номограмма, согласно которой границы применения разомкнутых стендов определяются областью, расположенной слева, а замкнутых — справа от кривой.

Номинальная мощность стенда, определяемая при проектировании по максимальной мощности редукторов, подлежащих испытанию,

$$N = f(K_T, K_M),$$

где K_T — коэффициент технологического режима работы стенда, $K_T = \frac{\sum t_i a_i}{\sum t_i}$ (t_i — время работы редуктора на i -м этапе испытаний; a_i — отношение мощности, соответствующей i -му этапу испытаний, к номинальной мощности редуктора); K_M —

коэффициент использования мощности, $K_M = \frac{\sum m_i f_i}{\sum m_i}$ (m_i — от-

ношение числа редукторов i -го типоразмера к общему числу редукторов, испытываемых на стенде; f_i — отношение номинальной мощности редуктора i -го типоразмера к номинальной мощности стенда).

В условиях единичного и мелкосерийного производства, где $K_T = 0,3 \div 0,6$, $K_M = 0,4 \div 0,6$, стенды с разомкнутой схемой чаще всего экономичнее стендов с замкнутым циклом, так как повышенные амортизационные отчисления для стендов с замкнутой схемой не компенсируются пониженными затратами на электроэнергию.

Наиболее совершенной конструкцией стендов, работающих по разомкнутой схеме и рекомендуемых для использования в единичном и мелкосерийном производстве, являются широко применяемые на многих заводах различных отраслей машиностроения универсальные стенды конструкции НИИПТмаша.

Регулируемый привод этих стендов осуществляют от электродвигателей постоянного тока напряжением 440 В серии Д, П91—П112 или П143—П151, для питания которых используют тиристорные преобразователи типа АТЭЗ, КТУ или АТ (преобразуют трехфазное напряжение 380 В переменного тока в постоянное с выходным напряжением до 440 В). Двигатели позволяют обеспечить плавное (почти бесступенчатое) регулирование скорости, что очень важно при обкатке зубчатых передач.

В качестве нагрузок используют электромагнитные ферропорошковые тормоза типа ПТМ и ТЭП (рис. 72), действие которых основано на эффекте возникновения сопротивления сдвигу в свободном ферромагнитном порошке при наложении на него магнитного поля. В этих тормозах величина момента торможения пропорциональна намагничивающему току и практически не зависит от частоты вращения ротора. Плавное изменение момента торможения (от нуля до максимального) обеспечивают регулированием тока возбуждения тормоза. Для отвода тепла, в которое превращается энергия торможения, предусмотрена циркуляция охлаждающей жидкости (воды).

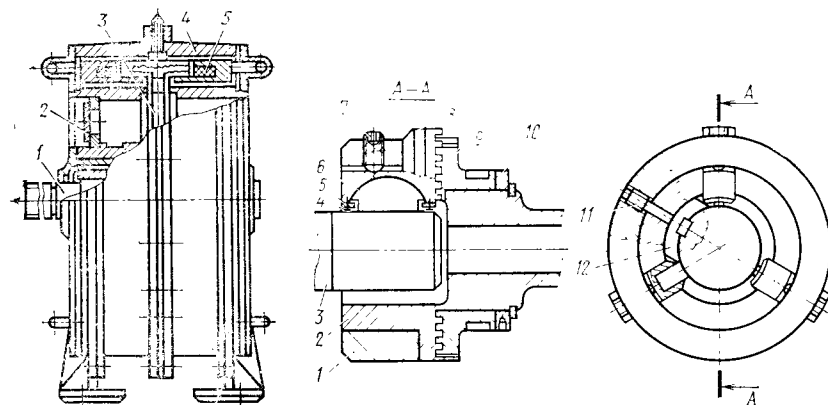


Рис. 72. Электромагнитный ферропорошковый тормоз типа ТЭП: 1 — вал; 2 — подшипниковые щиты; 3 — ротор; 4 — электромагниты; 5 — катушки возбуждения

Рис. 73. Универсальная регулируемая муфта для соединения конических и цилиндрических валов при испытаниях

Поскольку в условиях единичного и мелкосерийного производства габаритные размеры редукторов весьма разнообразны, для соединения валов в стендах используют регулируемые муфты и карданные валы.

Наиболее универсальными являются муфты [А. с. № 739270 (СССР)], предназначенные для соединения как цилиндрических, так и конических валов различных типоразмеров (рис. 73). При установке муфты, имеющей корпус 2 и кольцо 1, на вал вставку 12 насаживают на шпонку, после чего, устанавливая штыри специального рычажного ключа в радиальные отверстия опорного кольца 10 и пазы диска 9, проворачивают последний, сводя кулачки 8 до размера, примерно соответствующего диаметру вала 3. После этого надевают вставку на вал и проворачивают диск до тех пор, пока сухари 6, проворачиваясь по поверхностям сопряжения с кулачками, не будут прижаты последними к валу. От выпадения сухари удерживаются планками 5 и винтами 4. Винтами 7 окончательно прижимают кулачки к валу и вставку к шпонке, после чего муфта готова к эксплуатации. Крутящий момент передается муфтой за счет сил трения, возникающих не только из-за прижима кулачков к валу, но также из-за упора кулачка в боковую поверхность вставки, соединенной с валом при помощи шпонки, что обеспечивает повышенную нагрузочную способность муфты.

Техническая характеристика обкаточно-испытательных стендов приведена в табл. 7.

Стенды надежны в эксплуатации, просты в обслуживании,

7. Техническая характеристика стендов

Параметр	РС-150	РС-250	РС-1000	РС-4500	РС-10000
Максимальная мощность привода, кВт	25	60	60	200	200
Максимальный тормозной момент, Н·м	1000	2500	10 000	45 000	100 000
Максимальная частота вращения ротора тормоза, об/мин	1000	750	200	500	250

занимают относительно небольшую производственную площадь и обеспечивают возможность одновременных испытаний двух-трех редукторов, соединенных последовательно.

Для увеличения пятна контакта зубьев передачу часто подвергают притирке с абразивными пастами на обкаточно-испытательных стендах. Для этого с помощью войлочных или картонных колец изолируют подшипники, предварительно заполнив их смазочным материалом по ГОСТ 1033—79, наносят на зубья пасту тонким слоем (0,1—0,2 мм), медленно вращая передачу вручную. Притирку закаленных зубчатых передач производят с помощью паст на основе карбида бора, а незакаленных колес — на основе карбида кремния зеленого.

Для повышения производительности процесса приработки и улучшения качества поверхности притираемых зубьев можно применять приработочный состав Института химии высокомолекулярных соединений АН УССР, состоящий из следующих компонентов, %: окись хрома 45, парафин 5, стеарин 5, полимер (полиизобутилен) 2, веретенное масло 43.

Окружную скорость ведущего зубчатого колеса при притирке принимают 1,2—2,5 м/с, а нагрузку на зубья увеличивают от 5—10 Н до 25—50 Н на 10 мм длины зуба (при этом постепенно переходят на пасты с более мелким размером зерна).

После притирки с абразивными пастами редукторы подвергают обкатке в масле под нагрузкой (несколько часов), и обнаруженные дефекты исправляют.

В мелкосерийном и единичном производстве в процессе испытания зубчатых редукторов производят кинематический контроль, контроль пятна контакта и контроль температуры редуктора. Кинематический контроль включает определение величины составляющих спектра кинематической погрешности зубчатых передач редуктора и проверку их соответствия установленным нормам. Контроль осуществляется с помощью кинематомеров, сопоставляющих угловые перемещения входного и выходного валов. Результат измерения выражается в виде диаграммы кинематической погрешности, анализ которой позволяет выявить комплексную погрешность передачи и погреш-

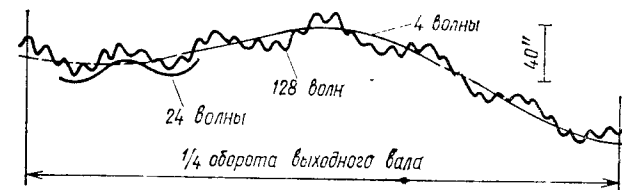


Рис. 74. Диаграмма кинематической погрешности редуктора

ность всех элементов, составляющих кинематическую цепь редуктора. Пример измерения кинематической погрешности редуктора с передаточным числом $i = \frac{23 \cdot 32}{138 \cdot 123}$ кинематомером

КН-7У (конструкции НИИПТмаша) показан на рис. 74 [27]. Проявляется погрешность шестерни $z=23$ (24 волны за оборот выходного вала), погрешность колес $z=138$ и $z=32$ (4 волны) и погрешности колеса $z=128$ (одна волна накопленной погрешности и 128 волн зубцовой частоты). Редуктор соответствует 8-й степени точности (ГОСТ 1643—72).

Для реверсивных передач с помощью кинематомеров в передачах определяют также величину рассогласования движений ведущего и ведомого валов при реверсе.

Обработка и испытания зубчатых передач и редукторов как самых распространенных сборочных единиц наиболее изучены и отработаны. Однако в процессе испытаний любой другой сборочной единицы, несмотря на малую повторяемость в изготовлении, также ищут возможности проверять работу механизмов в условиях, близких к эксплуатационным, для чего каким-либо образом создают нагрузку. Так, испытания и обкатку рольганга (см. рис. 4) аналогично редукторам проводят вначале без нагрузки, а затем с нагрузкой, создаваемой тормозным устройством; для проверки правильности работы механизмов распределителя шихты (см. рис. 5) под нагрузкой на воронку 5 устанавливают площадку, на которой закрепляют груз (например, опоки) массой, равной массе шихтовых материалов, а затем вращают распределитель шихты в течение 2 ч в каждую сторону, проверяя работу зубчатых пар, температуру нагрева подшипников, правильность установки уплотнений, а после испытаний — шероховатость и состояние рабочих поверхностей роликов и беговых дорожек (задиры и вмятины не допускаются).

Бесью сложным и ответственным комплексным испытаниям подвергают металлорежущие станки, проверяя работоспособность и качество работы отдельных механизмов, мощность, жесткость, производительность и точность обработки

заготовок. Приемка станков производится по нормам точности, установленным соответствующими стандартами.

Наибольшие затруднения вызывают испытания и проверка качества работы изделий, предназначенных для обработки давлением или резанием и являющихся одними из звеньев технологической цепи, например, рабочие клетки, моталки, размотыватели, ножницы прокатных станов, оборудование автоматических линий и т. п. Здесь часто обходятся обкаткой вхолостую, проверкой соответствующих движений исполнительных механизмов и контролем качества сборки типовых узлов (подшипниковых опор, зубчатых зацеплений гидро-, пневмоцилиндров и т. п.). При изготовлении станковых ножей после проверки относительного расположения ножей (отклонение от параллельности и перекрытие ножей, а также величина зазора между ними), испытаний гидроцилиндров, проверки кинематики машины производят двух-пятикратное разрезание проката соответствующего профиля.

Для повышения качества изготовления и сборки таких изделий проводят систематические наблюдения за выпущенными аналогичными машинами в условиях эксплуатации, анализируя полученные данные о выявленных погрешностях вместе с поступающими от потребителей рекламациями.

Машины, к которым предъявляют особенно высокие технические требования к надежности, после сборки, обкатки и испытаний частично или полностью разбирают для проверки состояния деталей, а затем снова производят их сборку и кратковременные контрольные испытания.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Общие принципы построения технологических процессов сборки. Задачей технологической подготовки сборочных процессов в единичном и мелкосерийном производстве является обеспечение полной технологической готовности предприятия к сборке изделий требуемой точности при оптимальном уровне собираемости и минимальных трудовых и материальных затратах. Под технологической готовностью предприятия (ГОСТ 14.004—74) понимается наличие на предприятии полных комплектов рабочей документации и средств технологического оснащения, необходимых для обеспечения заданного выпуска изделий с установленными технико-экономическими показателями.

Поскольку от решений, принятых при разработке технологического процесса сборки, во многом зависит построение технологических процессов изготовления деталей, составление технологического процесса сборки должно предшествовать разработке других технологических процессов.

Это особенно важно в условиях единичного и мелкосерийного производства, где относительно часто в конструкции сборочных единиц вносятся изменения с целью обеспечения технологичности и повышения собираемости изделий.

В настоящее время на машиностроительных предприятиях с многономенклатурной продукцией наблюдается тенденция относительного роста затрат и сроков на технологическую подготовку производства. Применительно к технологическим процессам сборки это объясняется прежде всего постоянным увеличением программы выпуска и повышением сложности изделий, в связи с чем увеличивается число разрабатываемых и корректируемых технологических процессов сборки, а их разработка усложняется. Этот фактор особенно проявляется в последние годы в связи с интенсификацией процесса увеличения объема выпуска изделий за счет повышения производительности труда, а следовательно, новых прогрессивных технологических процессов и методов сборки. Кроме того, в условиях единичного и мелкосерийного производства наряду с технологическими картами разрабатывают новые носители информации: рабочие инструкции, отраслевые и заводские стандарты, типаж, классификаторы, инструкции по контролю и пр. Так, согласно исследованиям за 6 лет на одном из изучаемых предприятий среднее количество носителей технологической информации на оригинальный чертеж увеличилось с 1,4 до 3,5.

В единичном и мелкосерийном производстве подробный технологический процесс сборки не разрабатывается, поскольку такая работа требует значительных затрат времени и средств. Поэтому из трех видов технологических процессов по степени детализации, регламентируемых ГОСТ 3.1109—73, — операционных, маршрутно-операционных и маршрутных, ограничиваются только последними. В связи с наметившимся в последние годы несоответствием имеющихся штатов технологосборщиков числу подлежащих разработке технологических процессов сборки зачастую описание операций сводится к записи: «Собрать согласно чертежу». Однако по такой технологической документации сборку могут выполнить лишь квалифицированные сборщики, так как необходимо самому определять порядок осуществления этапов и наиболее рациональные приемы слесарно-сборочных работ. С другой стороны, на многих предприятиях степень детализации технологических процессов не увязывается с типом производства, не учитываются особенности организации сборочных работ и квалификация слесарей-сборщиков, причем наиболее подробно описываются типовые переходы, выполнение которых не вызывает затруднений у исполнителей.

Поэтому в этих условиях особо важное значение приобретает рационализация технологической подготовки сборочных процессов, которая позволила бы сократить затраты и сроки

ее проведения при одновременном повышении качества сборки изделий. Основные методы совершенствования технологической подготовки сборочных процессов: создание и совершенствование справочно-информационной базы для разработки технологических процессов сборки; составление технологических схем сборки изделий; типизация технологических процессов; создание автоматизированных систем проектирования технологических процессов (АСПТП) сборки с помощью ЭВМ.

Область применения каждого из методов определяется конкретными условиями предприятия на основе технико-экономической оценки с учетом снижения при этом трудовых затрат и повышения качества как технологической документации, так и самих технологических процессов сборки. Наибольший эффект можно получить на основе осуществления во взаимосвязи нескольких методов, например, разработку АСПТП сборки изделий целесообразно вести на основе типовых решений и создания при этом необходимого банка данных. При выборе методов совершенствования технологической подготовки сборочного производства следует иметь в виду, что в общих трудозатратах на ее осуществление наибольшая доля, %, приходится на следующие этапы [71]: поиск и накопление информации 40, оценка и принятие решений 28, расчеты 18.

Совершенствование справочно-информационной базы. Разработка технологического процесса сборки изделий в единичном и мелкосерийном производстве, где в процессе соединения деталей в узлы выполняются разнообразные слесарно-сборочные операции, в том числе и присущие технологическим процессам обработки резанием, затрудняется несовершенной терминологией и системой записи операций и переходов в технологическую документацию, отсутствием систематизированных данных по наиболее рациональным режимам сборочных процессов и механической обработки при сборке, достаточного числа технических нормативов времени на слесарно-сборочные операции, научно обоснованных рекомендаций по выбору методов и средств осуществления сборки узлов.

Виды и комплектность технологических документов регламентированы ГОСТ 3.1102—74. Маршрутная карта, содержащая описание технологического процесса сборки с указанием данных по оборудованию, оснастке, материальным и трудовым нормативам, является основным технологическим документом, полностью и однозначно регламентирующим сборочный процесс.

Для правильного выбора методов осуществления слесарно-сборочных операций целесообразно разрабатывать их технологические паспорта (регламенты), содержащие сведения о технологическом оборудовании и оснастке с соответствующими технологическими характеристиками, о технологических параметрах методов проведения слесарно-сборочных операций в ви-

де диаграмм, таблиц, графиков, расчетных данных; обзорные данные о стандартизованных типах соединений и крепежных элементах для собственно сборочных операций; особенности выполнения слесарно-сборочных операций и рекомендуемые методы совершенствования; список литературных источников, относящихся к рассматриваемым вопросам, с указанием соответствующих разделов и страниц.

В технологических регламентах необходимо приводить также требования к технологичности соединений и сведения о возможностях замены их более прогрессивными. Кроме того, технологические паспорта должны содержать экономические показатели применения различных методов проведения слесарно-сборочных операций (стоимость оборудования, оснастки, крепежных элементов и т. д.), которые также для удобства представляют в виде столбиковых диаграмм и номограмм.

Систематизация данных исследований и опыта передовых предприятий позволяет разработать руководящие материалы для технологов и составить типаж наиболее приемлемых механизированных средств. Так, НИИПТмашем разработан типаж рекомендуемых для заводов тяжелого и транспортного машиностроения оборудования и средств механизации слесарно-сборочных и контрольно-испытательных операций.

Для нормирования слесарно-сборочных работ в условиях единичного и мелкосерийного производства применяют укрупненные общемашиностроительные, отраслевые и заводские нормативы. Из-за сложности и трудоемкости расчетов на заводах, выпускающих продукцию небольшими сериями, удельный вес технических норм невысокий. При установлении этих норм принимают наиболее рациональные методы проведения слесарно-сборочных операций с использованием прогрессивных технических решений и оптимальной организации труда слесаря-сборщика.

Иногда для относительно стабильной номенклатуры изготавливаемых изделий могут быть составлены типовые нормы штучного времени на сборку конкретных сборочных единиц. Однако для большинства изделий единичного и мелкосерийного производства расчет технически обоснованных норм времени на выполнение слесарно-сборочных операций рациональнее всего производить путем применения укрупненных поузловых нормативов времени, содержащих суммарные затраты времени, необходимые для выполнения слесарно-сборочных операций.

Для разработки поузловых нормативов изучают структуру сборочных единиц, последовательность и организацию сборки, анализируют и находят вид и степень влияния основных и вспомогательных факторов на трудоемкость сборки (по результатам хронометражных наблюдений), на основе чего составляют и проверяют в производственных условиях нормативные таблицы.

Разработка укрупненных поузловых нормативов должна быть основана на рациональном построении сборочного процесса с учетом приемов проведения слесарно-сборочных операций передовыми сборщиками, максимального использования оборудования при выгодных режимах работы, применения прогрессивной оснастки и соответствующего инструмента, а также рациональной организации труда и рабочего места.

Основные факторы, определяющие продолжительность слесарно-сборочных операций и учитываемые при разработке укрупненных поузловых нормативов: число соединяемых (или обрабатываемых) деталей и масса сборочной единицы, требуемая точность сборки и возможности осуществления регулирования, удобство выполнения операции, производительность применяемого оборудования, вид оснастки и пр. Такие укрупненные поузловые нормативы разработаны, например, ВПТИ-Тяжмашем для сборки изделий тяжелого и транспортного машиностроения, Ленинградским инженерно-экономическим институтом для сборки электротехнической продукции [62].

Для более широкого использования и повышения точности нормирования укрупненные нормативы представляют в виде таблиц, которые содержат штучно-калькуляционное время на выполнение операции и величины поправок к норме времени, учитывающие влияние различных конструктивно-технологических и организационных особенностей сборочного процесса.

Рациональным приемом, создающим условия для наиболее качественной разработки технологических процессов изготовления сложных изделий, является применение технологических схем их сборки, содержащих информацию, необходимую для осуществления сборочного процесса. В сочетании с технологическими инструкциями по проведению типовых слесарно-сборочных операций технологические схемы сборки могут во многих случаях заменить текстовые технологические карты.

Технологическая схема сборки представляет собой графическое изображение последовательности сборки и основных сведений о слесарно-сборочных операциях. Разработка технологических схем сборки получила распространение в тяжелом машиностроении, на машиностроительных заводах легкой и пищевой промышленности и бытовых приборов, в нефтепромышленном машиностроении и др.

Для составления технологических схем сборки изделие расчленяют на сборочные единицы и определяют последовательность сборки изделия, исходя из конструктивных особенностей и выбранного метода достижения требуемой точности замыкающих звеньев сборочных размерных цепей.

На разных предприятиях форма изображения технологических схем и степень ее насыщения сведениями о технологии сборки различны. На рис. 75 показаны условные обозначения.

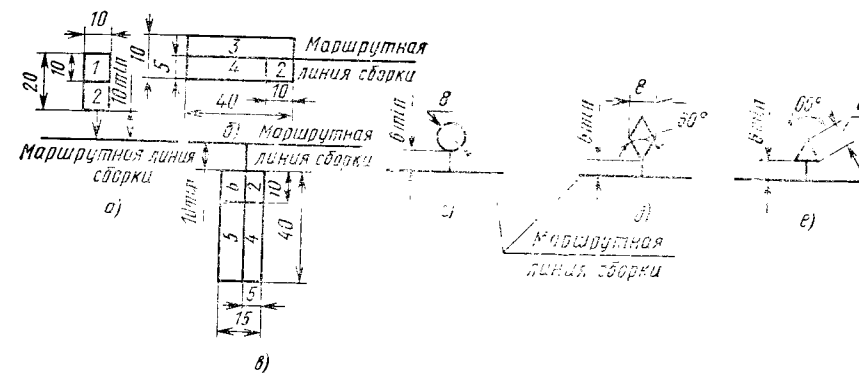


Рис. 75. Условные обозначения на технологической схеме сборки:
а — деталь; б — базовая деталь; в — сборочная единица; г — операция; д — оборудование; е — оснастка и инструмент; 1 — порядковый номер детали по спецификации чертежа собираемой сборочной единицы; 2 — число деталей или сборочных единиц; 3 — наименование деталей; 4 — обозначение чертежа; 5 — наименование сборочной единицы; 6 — трудоемкость сборочной операции

а на рис. 76 — пусковая задвижка и технологическая схема [49] ее сборки.

Детали и сборочные единицы обозначают в виде прямоугольников, а операции сборки — стрелками, связывающими их с маршрутной линией сборки (рис. 75, а—в). Если при сборке изделия необходима разборка отдельных сборочных единиц, направление стрелки изменяют на обратное. Принимая направление маршрутной линии от базовой детали к готовому изделию, технологическую последовательность присоединения отдельных деталей (слева от маршрутной линии) и сборочных единиц (справа от маршрутной линии), определяют очередность их присоединения к маршрутной линии. Параллельность маршрутных линий обозначает возможность параллельной сборки отдельных сборочных единиц. Вид слесарно-сборочной операции, а также применяемые при этом оборудование, оснастку и инструмент указывают условными обозначениями (знаками), внутри которых проставляют буквенные обозначения операций и порядковый номер оснащения по спецификации технологической схемы.

Схему сборки оформляют на листе одного из форматов по ГОСТ 2.301—68, где приводят также спецификацию и необходимые технические требования при выполнении отдельных переходов и операций.

На многих машиностроительных заводах накоплен значительный опыт по совершенствованию технологических схем сборки. Так, на заводах тяжелого машиностроения, применяющих схемы сборки, по методике построения, аналогичной описанной, вычерчивают технологические схемы сборочных еди-

ниц, а затем при построении схемы общей сборки производят лишь их компоновку на отдельном месте. Это особенно рационально для сложных изделий. Кроме того, на схемах указывают номера цехов, из которых поступают в сборочный цех детали и сборочные единицы. В производственном объединении «Уралмаш» к схемам сборки прикладывают нормировочную ведомость.

На заводах машиностроения для легкой и пищевой промышленности разрабатывают [53] как единичные технологические схемы сборки, подобные описанным, так и групповые с применением соответствующих таблиц.

Типизация сборочных процессов и автоматизация технологической подготовки с помощью ЭВМ. Типизация технологических процессов представляет собой реализуемую на основе технологической преемственности систему разработки обобщенных технологических процессов изготовления определенной номенклатуры изделий, в которых содержатся многократно проверенные прогрессивные решения с оптимальной механизацией на базе наиболее рациональной организации процесса.

При типизации технологических процессов сборки производят обоснованное сведение многообразных технологических процессов сборки к ограниченному их числу, для чего разрабатывают типовые технологические процессы сборки изделий и сборочных единиц или типовые технологические операции и переходы определенных слесарно-сборочных работ.

Разработка типовых технологических процессов сборки по указанным двум направлениям типизации основывается на создании соответственно конструкторских и технологических классификаторов. При разработке типовых технологических процессов, используемых затем в производстве в качестве рабочих, число переменных параметров, по которым формируются технологические процессы, принимают обычно не более пяти. Если типовые технологические процессы разрабатывают для создания справочно-информа-

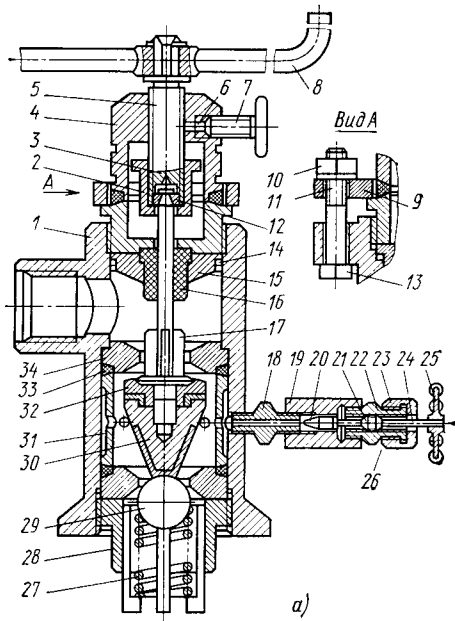


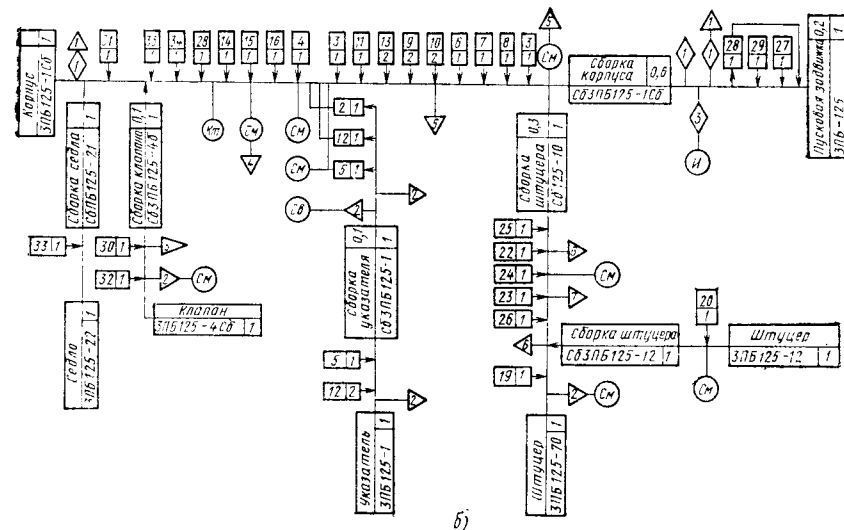
Рис. 76. Пусковая задвижка (а) и технологическая схема ее сборки (б)

ционной базы, например, на общесоюзном или отраслевом уровне, то число переменных факторов и вариантов выполнения отдельных слесарно-сборочных операций или переходов может быть увеличено.

Наиболее просто решается задача типизации сборки стандартизованных и унифицированных сборочных единиц: пневматических и гидравлических цилиндров, редукторов, соединительных муфт, сборочных единиц смазочных и гидравлических систем, тормозов и т. д. Например, в производственном объединении «Уралмаш» применяют более 90 типовых технологических процессов сборки на стандартизированные сборочные единицы и около 80 на унифицированные.

При разработке типовых технологических процессов сборки производят классификацию изделий и технических требований к их изготовлению, количественную оценку групп изделий, конструктивно-технологический анализ типопредставителей, на основе размерного анализа выбирают метод достижения требуемой точности и методы осуществления сборки.

Классификацию изделий и сборочных единиц выполняют, группируя их на основе общности конструктивно-технологических признаков. При этом учитывают, что для разработки типовых технологических процессов сборки необходимо, чтобы такое группирование составляющих классификацию сборочных единиц обеспечило как единство содержания операций в технологическом процессе или переходов в операции, так и единство последовательности выполнения операций. На выполнение первого условия влияют геометрическая форма изделий (сборочных единиц, деталей), состав и способы закрепления эле-



ментов в соединении, методы выполнения операций, габаритные размеры, масса и расположение составных частей. Второе условие удовлетворяется в случае единства содержания операций в технологическом процессе или переходов в операции и маршрута изготовления, а также общности способов осуществления слесарно-сборочных работ.

Основываясь на рассмотренных критериях классификации, разрабатывают конструкторские классификаторы сборочных единиц различных изделий, исходя из служебного назначения и технических требований, предъявляемых к их изготовлению: изделий и сборочных единиц общего назначения [73], кузнечно-прессового оборудования [66], полиграфических машин [70] и т. д. На рис. 77 в качестве примера приведена классификация одного из видов изделий заводов металлургического машиностроения — прокатного оборудования, для которого разработано 14 типовых технологических процессов сборки [33], обозначенных на схеме ТТП. Классификационными единицами по мере уменьшения общих конструктивно-технологических признаков являются виды, классы, группы и типы изделий и сборочных единиц.

Процесс типизации предполагает тщательную размерную отработку конструкций изделий и сборочных единиц, разработку методов повышения их собираемости, совершенствование методов достижения требуемой точности замыкающих звеньев, а также методов осуществления отдельных слесарно-сборочных операций. Так, при разработке НИИПТмашем типовых технологических процессов сборки шахтных подъемных машин на Донецком машиностроительном заводе им. Ленинского Комсомола Украины осуществлен ряд предложений по улучшению технологичности и повышению собираемости машин, внедрены прогрессивные технологические методы сборки соединений с помощью предварительного охлаждения в жидком азоте и статической балансировки деталей и сборочных единиц с помощью устройств типа УСБ, описанных выше.

Таким образом, типизация технологических процессов не только снижает затраты на технологическую подготовку производства, но за счет пересмотра технологических решений и повышения качества сборочного процесса позволяет снизить его трудоемкость.

В некоторых областях машиностроения типизацию технологических процессов сборки производят на основе технологических классификаторов, состоящих из типовых операций и переходов.

Классификатор в этом случае разрабатывают без конкретной привязки к какой-либо номенклатуре изделий на все виды слесарно-сборочных работ. Технологический классификатор [51] содержит 6 классов, 20 подклассов, 31 группу и 80 подгрупп типизируемых работ, на основе которого составлена

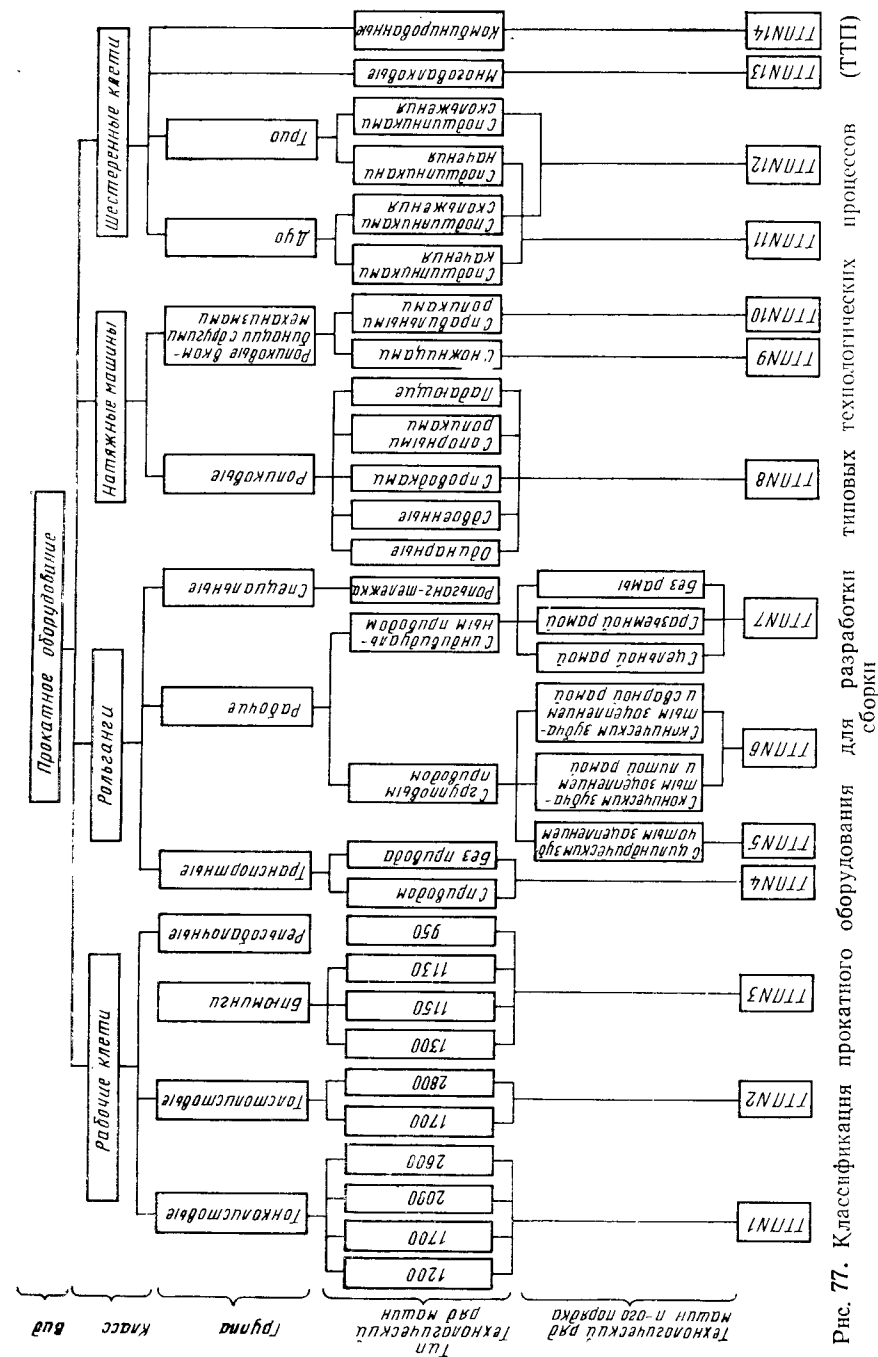


Рис. 77. Классификация прокатного оборудования для разработки типовых технологических процессов (ТТП)

сводная ведомость типовых переходов в виде альбома, пользуясь которым технолог-разработчик составляет рабочие технологические процессы сборки. Изучение технологических процессов сборки изделий с целью определения типовых переходов слесарно-сборочных работ и составление технологического классификатора переходов может быть выполнено с использованием ЭВМ на основе применения элементов теории множеств и семиотического (знакового) анализа.

Типизация технологических процессов сборки в единичном и мелкосерийном производстве создает условия для организации предметно-поточных линий и специализированных участков сборки типовых сборочных единиц и изделий, эффективного внедрения средств механизации и автоматизации слесарно-сборочных операций, в том числе промышленных роботов, а также повышает уровень специализации сборочного производства. Например, на ПО «Уралмаше», где уровень типизации составляет для различных основных изделий и сборочных единиц от 0,2 до 0,8, в результате проведенной типизации созданы специализированные цехи и участки по сборке доменного, прокатного, дробильно-размольного, экскаваторного оборудования, сборочных единиц пневмо- и гидроаппаратуры.

Перспективным направлением сокращения сроков и стоимости технической подготовки сборочного производства является создание автоматизированных систем проектирования технологических процессов (АСПТП) сборки с применением ЭВМ. Использование таких систем позволяет повысить качество разработки сборочных процессов и получить в соответствующих производственных условиях оптимальные технологические процессы, снизить их трудоемкость, освободить квалифицированных технологов от разработки технологии на несложные технологические процессы сборки, направив их опыт и знания на творческое решение вопросов повышения качества и снижения трудоемкости сборки изделий.

Первым шагом на пути применения ЭВМ для технологической подготовки сборочного производства является алгоритмизация поиска текстов, описывающих содержание типовых переходов [51]. В память ЭВМ вводят альбом типовых переходов, который представляет собой условно-постоянную информацию алгоритма поиска и распечатывания текстов этих переходов для составления технологического процесса сборки. Для этого проводят кодирование типовых переходов, а технолог указывает их последовательность в виде кодов, благодаря которым по запрограммированным алгоритмам происходит распечатывание карт технологических процессов сборки.

При создании АСПТП сборки все больше операций и действий передается для исполнения в виде соответствующих программ ЭВМ и другим устройствам машинной обработки, однако главные, принципиальные, остаются за человеком, хо-

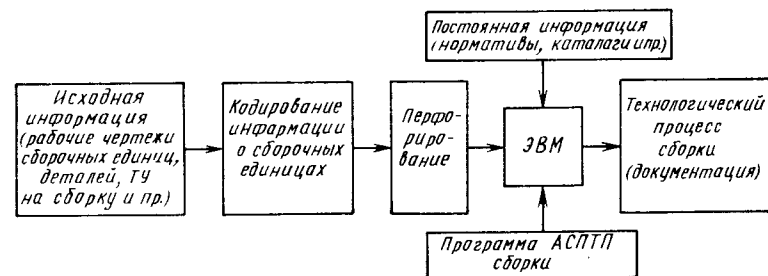


Рис. 78. Схема автоматизированного проектирования технологических процессов сборки

тя объем таких действий по мере развития программного управления непрерывно уменьшается. АСПТП сборки изделий предполагает наличие системы алгоритмов, позволяющих на основании соответствующей исходной информации о сборочных единицах и технологических возможностях производства разрабатывать с помощью ЭВМ технологический процесс сборки.

Схема автоматизированного проектирования технологических процессов сборки показана на рис. 78. Как видно из схемы, исходным материалом для проектирования является рабочий чертеж объекта производства (сборочной единицы). В кодировочной таблице по соответствующей системе кодировщик указывает необходимые конструктивные особенности объекта производства, которые затем переносят на носитель информации. Разработка технологического процесса сборки производится ЭВМ автоматически по запрограммированным в ее памяти алгоритмам. В соответствии с разработанной автоматизированной системой проектирования технологических процессов алгоритмы содержат методы определения наиболее рационального технологического процесса.

При разработке АСПТП сборки из всех задач технологического проектирования наиболее сложной является алгоритмизация разработки маршрутных технологических процессов, поскольку эта задача наиболее творческая и трудно поддается формализации из-за отсутствия четких принципов и рекомендаций по применению различных видов обработки и сборки, базирования и т. д. При проектировании технологических процессов сборки эти трудности значительно увеличиваются, поскольку научные основы технологии сборки в достаточной мере не разработаны, отсутствуют четкие технологические предпосылки проектирования сборочных процессов, совершенно не изучены вопросы точности сборочных операций и т. д.

В связи с этим представляется целесообразным производить разработку АСПТП сборки с помощью метода формали-

зованного проектирования маршрутного технологического процесса, основанного на типизации, поскольку при этом удастся избежать учета огромного числа факторов, которые должны учитывать при проектировании маршрутов. Целесообразность этого метода подтверждается также возможностью развития на этой основе типизации технологических процессов сборки как одного из направлений совершенствования технологической подготовки сборочного производства, получившего широкое применение на заводах единичного и мелкосерийного производства.

Для разработки АСПТП сборки с использованием типовых решений изучаются конструктивно-технологические особенности объектов производства (сборочных единиц и изделий) и формируется так называемый комплексный маршрут сборки, который включает упорядоченный в определенной последовательности набор типовых технологических операций сборки, характерных для рассматриваемого класса объектов. Формирование комплексного маршрута осуществляется путем анализа типовых технологических операций сборки сборочной единицы, их корректировки с целью исключения повторяемости в маршруте и последующего объединения в единый технологический массив.

Реализацию комплексного маршрута в виде алгоритма осуществляют с помощью таблицы соответствий признаков (табл. 8), которая сводит задачу принятия тех или иных тех-

8. Таблица соответствий признаков

Номер операции	Код операции	Характеристики (условия выбора) операций и их значения
N_i	K_j	$A_K(1, 2, \dots, 9), A_{K+1}(1, 2, \dots, 9), \dots$ $A_{K+t}(1, 2, \dots, 9)$
N_{i+1}	K_{j+1}	$A_K(1, 2, \dots, 9), A_{K+1}(1, 2, \dots, 9), \dots$ $A_{K+t}(1, 2, \dots, 9)$
N_{i+n}	K_{j+m}	$A_K(1, 2, \dots, 9), A_{K+1}(1, 2, \dots, 9), \dots$ $A_{K+t}(1, 2, \dots, 9)$

нических решений к анализу соответствий между конечным множеством возможных решений и конечным множеством значений условий, влияющих на выбор этих решений.

Каждая элементарная технологическая операция K_j комплексного маршрута описывается в табл. 8 набором характеристик A_K , значения которых определяют ее выбор. Условия выбора сборочных операций (характеристики A_K) представляют собой комплекс конструктивно-технологических особенностей, характеризующих процесс изготовления сборочных единиц, а их значения устанавливают в соответствии с требованиями системы кодирования.

Табличная форма представления информации наиболее удобна для таких информационных массивов, как типовой технологический процесс с множеством характеристик, определяющих набор операций, поскольку одной и той же операции может быть свойственна одна или более характеристик (признаков); одна и та же характеристика может быть свойственна нескольким операциям. Кроме того, структура информационных таблиц позволяет включать новые или исключать прежние объекты и признаки, что делает информационную систему динамичной.

Примером использования типовых решений для проектирования сборочных процессов с помощью ЭВМ является разработанная НИИПТмашем АСПТП сборки изделий типа транспортирующих рольгангов [55].

Предпроектное исследование конструкций рольгангов и технологических процессов их сборки на заводах тяжелого машиностроения позволило установить, что, несмотря на относительно близкие условия и характер производства, структуру, объемы и сложность продукции, организацию и исполнение работ по технологической подготовке сборочного производства рольгангов, а также оформление технологических процессов их сборки на заводах тяжелого машиностроения различны. Это различие определяется прежде всего условием применяемого оборудования и оснастки, традициями на предприятии, субъективными факторами, различием в культуре производства. Разработка АСПТП сборки рольгангов позволила унифицировать технологические приемы, применив типовые прогрессивные методы, и в результате повысить качество технологической документации и снизить трудоемкость сборки.

В соответствии с составом сборочных единиц рольганга в комплексный маршрут включены три маршрутных ряда операций: узел рам, узел ролика и общая сборка.

Укрупненная схема функционирования системы показана на рис. 79. Здесь таблицы для записи комплексного маршрута являются частью алгоритма, который предусматривает решение следующих задач: ввод исходных данных из таблицы кодированных сведений (ТКС); проектирование маршрутного технологического процесса сборки (выбор операций, оборудования, оснастки, нормирование операций и др.); формирование массива печати, печать технологической документации.

Вводной информацией являются: массивы маршрутного ряда, массивы сборочных операций, массив норм времени на слесарно-сборочные операции, исходные данные таблицы кодированных сведений.

В работе разработана система кодирования, позволяющая в упорядоченном и переработанном виде ввести в ЭВМ необходимые для разработки технологических процессов сборки исходные данные, которые могут быть сгруппированы следую-

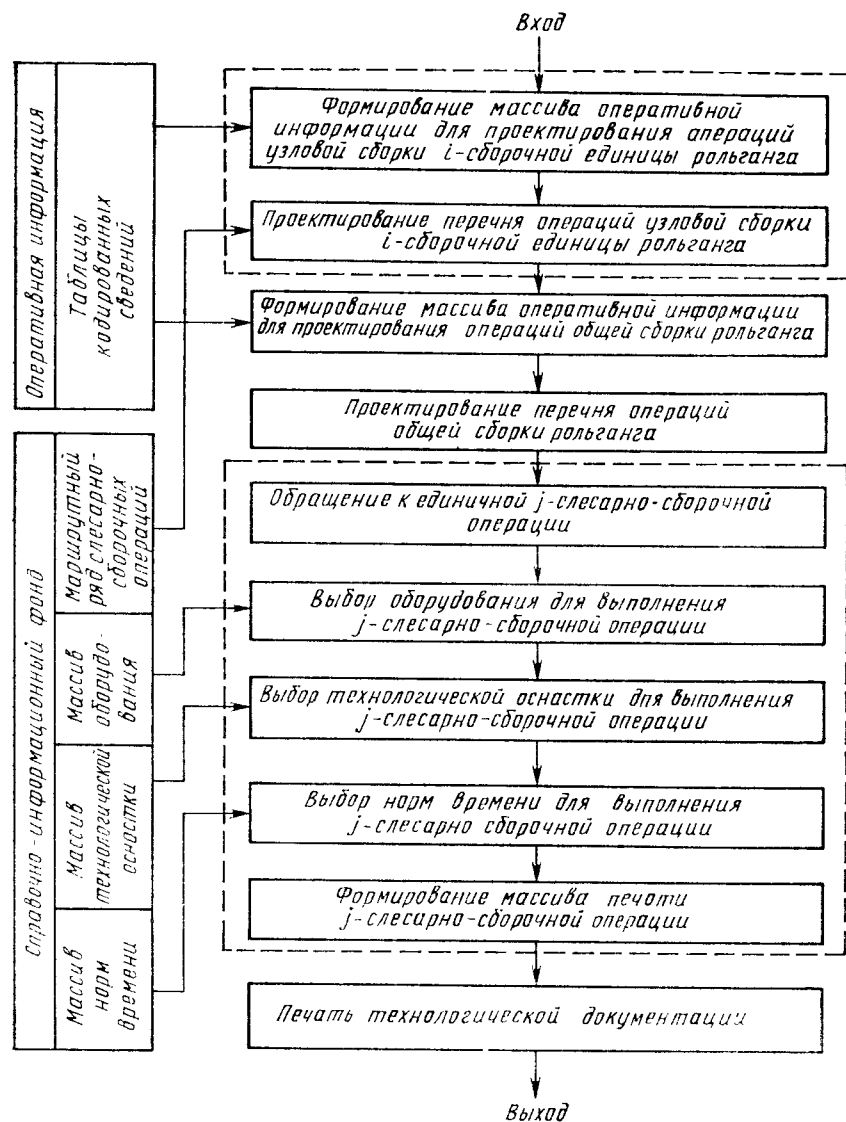


Рис. 79. Укрупненная блок-схема функционирования АСПТП сборки транспортирующих рольгангов

щим образом: общие сведения о сборочной единице и производственной системе, сведения о конструктивных и технологических особенностях сборки данной сборочной единицы.

Рассматриваемые конструкции рольгангов расчленились на отдельные сборочные единицы и детали с последующей оцен-

кой степени их влияния на технологический процесс сборки. При этом учитывались конструктивные особенности, компоновка и функциональные связи деталей рольганга. В результате этого было сформировано 48 характеристик, описывающих в кодовом виде все многообразие конструктивных и технологических решений, определяющих технические возможности системы.

Таким образом, процесс кодирования информации о конкретном рольганге (или его сборочной единице) сводится к установлению значений характеристик A_k в соответствии с инструкцией по кодированию и может быть выполнен технологом средней квалификации в течение 10—15 мин.

Программное обеспечение системы выполнено с использованием пакета прикладных программ на языке символического кодирования (ЯСК) «Минск-32» и алгоритмическом языке Fortran. Для решения данной задачи выбрана простая структура организации пакета в виде библиотеки стандартных программ.

Пакет программ состоит из отдельных функциональных блоков или программных этапов, в свою очередь состоящих из программных модулей. Каждый программный модуль представляет собой программу или процедуру, реализующую алгоритм вычислительного характера. Порядок функционирования и режим работы отдельных этапов регулируются организующей программой. На каждом этапе предусматривается контроль входной и выходной информации и выдается сообщение при обнаружении ошибок. Организующая программа осуществляет руководство работой программ формирования маршрута и печати технологических карт и организует ввод массива таблицы кодированных сведений.

Проектирование технологического процесса сборки осуществляется следующим образом. Организующая программа формирует имена справочных массивов и набор характеристик A_k . Программа выбора маршрута по значениям характеристик выбирает из соответствующего массива маршрутного ряда сборочные операции в виде перечня их кодов. По выбранным кодам операций формируются массивы оборудования, приспособлений, оснастки и т. д.

Полученные результаты вместе с необходимыми сведениями из ТКС используются программой печати маршрутных технологических карт сборки. Модульная структура пакета прикладных программ допускает их модификацию, замену отдельных модулей и дальнейшее дополнение пакета.

Опытно-промышленные испытания автоматизированной системы проектирования технологических процессов сборки рольгангов, проведенные в производственных условиях Новокраматорского машиностроительного завода им. В. И. Ленина, показали удовлетворительные результаты. Производительность

труда технолога повышается в 3—4 раза, улучшается качество проектирования, повышается культура производства.

Следует, однако, отметить, что, как видно из изложенного, при разработке систем автоматизированного проектирования процессов сборки на основе типовых решений некоторые наиболее формализуемые, но важные задачи составления технологического процесса решают предварительно на основе отработанных приемов, которые хранят в памяти ЭВМ. Это требует большого объема памяти информационно-поисковой системы, и, кроме того, из-за наличия большого числа ограничений алгоритмы и программы не могут быть применены без существенной переработки для другого вида изделий, что резко увеличивает затраты на создание локальных автоматизированных систем.

Дальнейшим шагом на пути создания высокоэффективных систем автоматизированного проектирования является система разработки индивидуальных технологических процессов. Для математического обеспечения системы процесс сборки моделируют на основе установленных математических отношений между конструктивно-технологическими свойствами изделия или сборочной единицы и свойствами производственной системы, отражающих физическую сущность процесса сборки [42].

Разработку и внедрение системы автоматизированного проектирования технологических процессов сборки целесообразно проводить с одновременным совершенствованием существующих сборочных процессов на основе применения прогрессивных методов и оснастки.

Организационные формы сборки. Производительность труда при сборке машин в значительной степени зависит от принятой организации сборочных работ. Изыскание рациональных методов и организационных форм осуществления сборочных процессов имеет важное значение в повышении общей эффективности производства изделий в машиностроении.

Решающее влияние на выбор организационных форм сборочных работ оказывают следующие факторы: объем выпуска, конструкция изделия, его габаритные размеры и масса, трудоемкость сборочного процесса и др. Под формой организации сборки машин понимается организационно-технический принцип построения технологического процесса. Различают две основные формы организации сборки — стационарную и подвижную. В первом случае изделие полностью собирают на одном сборочном месте (посту), к которому подаются все необходимые детали и материалы. При подвижной сборке собираемое изделие последовательно перемещается по сборочным рабочим местам, на каждом из которых выполняются определенные операции. В этом случае детали и сборочные единицы поступают на соответствующие сборочные места, ос-

нащенные необходимым инструментом и средствами механизации сборочных операций.

В условиях единичного и мелкосерийного производства преобладающей формой организации сборочного процесса является стационарная сборка. Стационарная сборка может осуществляться по принципу концентрации или дифференциации сборочных работ. При стационарной сборке по принципу концентрации операций и сборочных работ изделия собираются последовательно одним рабочим высокой квалификации или бригадой рабочих-сборщиков. Следует отметить, что бригадный метод сборки, чаще всего применяющийся при сборке крупногабаритных и сложных изделий, является первым шагом на пути дифференциации сборочных работ, так как внутри бригады уже имеет место некоторое разделение рабочих по основным видам выполняемых сборочных операций.

Длительность сборочного процесса T_c (чел.-ч) при стационарной сборке по принципу концентрации

$$T_c = \frac{T_{сб}}{B} N_c,$$

где $T_{сб}$ — суммарная трудоемкость процесса сборки одного изделия; B — число рабочих в сборочной бригаде; N_c — число собираемых изделий.

Большая продолжительность цикла сборки — главный недостаток такого метода сборки изделий. Причем сокращение цикла сборки за счет увеличения числа рабочих в бригаде ограничивается возможностями рациональной расстановки их на рабочем месте.

Более прогрессивной является стационарная сборка с дифференциацией процесса на узловую сборку отдельных комплектов (сборочных единиц) и общую сборку изделия. Такая организация технологического процесса сборки позволяет расширить фронт параллельно выполняемых работ, создает возможности специализации рабочих мест путем закрепления за ними определенных операций. Длительность сборочного процесса при стационарной сборке с дифференциацией работ

$$T_{сд} = \frac{t_{сб}}{B_{сб}} + \frac{t_o}{B_o} N_c \text{ при } \frac{t_o}{B_o} \geq \frac{t_{сб}}{B_{сб}};$$

$$T_{сд} = \frac{t_{сб}}{B_{сб}} N_c + \frac{t_o}{B_o} \text{ при } \frac{t_o}{B_o} < \frac{t_{сб}}{B_{сб}},$$

где $t_{сб}$ — трудоемкость сборки наиболее трудоемкой сборочной единицы; $B_{сб}$ — число рабочих, занятых на сборке сборочной единицы (узловая сборка); t_o — трудоемкость общей сборки изделия; B_o — число рабочих, занятых на общей сборке.

Дифференциация процесса сборки значительно сокращает длительность цикла, снижает трудоемкость и себестоимость

сборочных работ, сокращает потребность в рабочей силе и производственных площадях. При этом создаются благоприятные условия для оснащения отдельных рабочих мест необходимыми приспособлениями и средствами механизации.

Возможности совершенствования организационных форм сборочных процессов определяются в первую очередь повторяемостью однотипных изделий, степенью их унификации и расчлененностью на сборочные единицы. Унификация и стандартизация деталей, сборочных единиц и изделий является важнейшей предпосылкой совершенствования технологических процессов и рациональной организации сборочных работ.

Наряду со стационарной сборкой в мелкосерийном производстве находит также применение подвижная сборка. Чаще всего она используется при групповой поточной сборке однотипных изделий, примеры сборки которых будут рассмотрены ниже.

Известно, что подвижная сборка может осуществляться двумя способами: со свободным движением собираемого объекта, который во время сборки перемещается вручную на тележках, ролягангах, конвейерах на воздушной подушке или при помощи механизированных транспортных средств (тельферов, кранов); с принудительным движением собираемого объекта, перемещающегося во время сборки посредством конвейера или тележек, ведомых замкнутой цепью. Сборка изделий в этом случае производится непосредственно на тележках или конвейере. Принудительное движение собираемого изделия может быть прерывным или непрерывным. В основном сборка с принудительным движением конвейера применяется в условиях крупносерийного и массового производства.

Проведенные за последнее время исследования психологических аспектов организации сборочных процессов показали, что поточные линии сборки с жестким ритмом не являются лучшей формой организации труда. Высокая степень технологической дисциплины при работе на таких линиях оказывает неблагоприятное влияние на психику людей, что ухудшает качество сборки и не создает благоприятных условий для развития индивидуальных способностей человека. Поэтому современное сборочное производство идет по пути замены жесткого ритма свободно выбранным [25].

Организация специализированных сборочных цехов, участков поточно-механизированных линий. В условиях единичного и мелкосерийного производства одним из эффективных направлений совершенствования организационно-технического уровня сборочного производства является создание специализированных цехов, участков и поточно-механизированных линий для сборки унифицированных сборочных единиц и машин, имеющих конструктивно-технологическое подобие.

Решению этого вопроса должна предшествовать большая и

кропотливая работа по анализу разнообразной номенклатуры изделий и сборочных единиц с целью их группирования по общности конструктивных и технологических факторов. В этом случае степень унификации и стандартизации машин и их составных частей играет важнейшую роль. При анализе конструкций машин в первую очередь выделяют стандартизованные сборочные единицы одинакового функционального назначения и конструктивного исполнения, отличающиеся только размерными параметрами. Обычно к таким сборочным единицам относятся соединительные муфты, тормоза, элементы гидро- и пневмосистем и др.

Группируются также сборочные единицы общего отраслевого назначения, унифицированные по тем или иным параметрам. Например, для редукторов за основу классификационного признака (параметра) принимается величина межосевого расстояния, для гидро- и пневмоцилиндров — диаметр и ход поршня и т. д. Полученные таким образом классификационные группы сборочных единиц служат исходной базой для разработки типовых и групповых технологических процессов сборки, а также организации специализированных участков и поточно-механизированных сборочных линий. Ниже рассмотрены примеры наиболее перспективных организационно-технических решений при сборке изделий, применяемых в практике различных отраслей отечественного и зарубежного машиностроения.

На Горьковском заводе фрезерных станков наряду с производством большого числа различных конструкций станков массой от 2 до 300 т организовано поточное производство 12 моделей консольно-фрезерных станков, годовой выпуск которых по разным моделям составляет от 100 до 2000 шт. Высокая степень унификации конструкции станков позволила организовать узловую, общую сборку и окраску станков на групповых конвейерных линиях.

Основные сборочные единицы станков (консоли, стол, коробка подач, поворотная головка и др.) собираются на пяти цепных тележечных конвейерах. Общая сборка производится на гидравлическом шагающем конвейере, имеющем 28 рабочих позиций. Все рабочие места на конвейерах оборудованы необходимым механизированным инструментом и приспособлениями. На ряде рабочих мест организованы навесные стеллажи для деталей, что избавляет рабочих от лишних движений, снижает их утомляемость [34].

Для сборки винтовых компрессоров ЗИФ-5 и ВК-12 на Чинтинском машиностроительном заводе применяют карусельный конвейер (рис. 80), разработанный ВНИИкомпрессорамашем [45], состоящий из основания 1, на которое опирается рама 4 посредством роликов 5. Поворот рамы вокруг колонны осуществляется электроприводом 3. На раме размещены шесть кантователей 7, которые с помощью пневмоцилиндра 6 можно

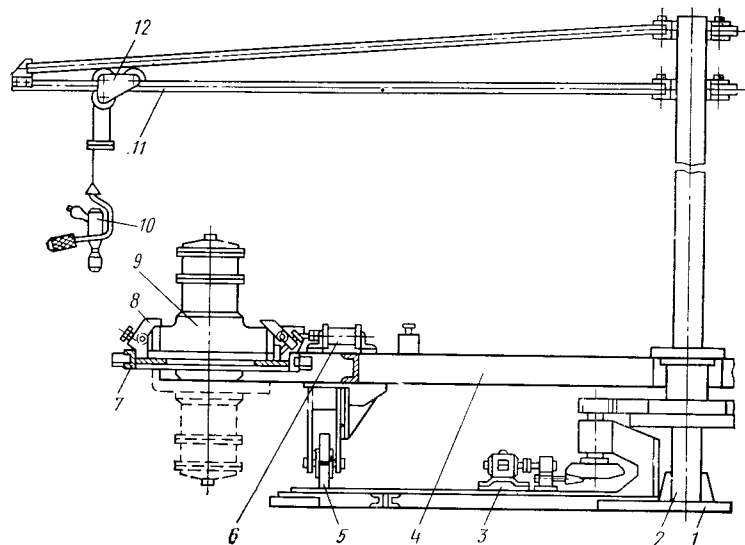


Рис. 80. Карусельный конвейер для сборки винтовых компрессоров

поворачивать на 180° вокруг горизонтальной оси. Корпус 9 собираемого компрессора устанавливают на рабочем столе кантователя и крепят прихватами 8. Стол кантователя вручную вращается вокруг вертикальной оси и может фиксироваться через каждые 30° . Поворот стола в горизонтальной и вертикальной плоскостях позволяет устанавливать компрессор в удобное положение для сборки и применять механизированный инструмент.

На центральной колонне над каждым рабочим столом установлена консоль 11 с передвижной тележкой 12 для подвески механизированного инструмента 10. Для улучшения организации труда возле каждого рабочего места имеется специальная кассета, которая комплектуется необходимыми для сборки деталями.

Технологический процесс на карусельном конвейере дифференцирован так, что на каждой рабочей позиции выполняется определенное количество операций. Это дает возможность оснастить их необходимыми средствами механизации. Подобные конвейеры могут применяться для сборки редукторов, насосов и других аналогичных изделий.

Заслуживает внимания опыт ряда зарубежных фирм по организации сборки крупных машин на конвейерах с воздушной подушкой [53]. Фирма «Fiat-Allis» (США) при сборке тяжелых гусеничных тракторов, гусеничных экскаваторов, бульдозеров, и других изделий применяет конвейеры на воздушной подушке. Такие конвейеры обладают большой мобильностью, не

загромождают помещение, так как вся сборка и перемещение собираемых машин ведется на гладком полу цеха. Это обеспечивает свободный доступ со всех сторон к каждой собираемой машине. При необходимости собираемая машина легко может быть передвинута или повернута сборщиком в удобное положение.

Главной составной частью конвейера является паллета с резиновыми воздушными диафрагмами 3, закрепленными в металлической раме 1 (рис. 81). На раме установлено небольшое направляющее колесо 2, которое обеспечивает прямолинейное движение паллеты с грузом, предохраняя ее от произвольного перемещения в поперечном направлении. Внутри паллеты имеется разводка гибких шлангов для одновременной подачи воздуха ко всем резиновым диафрагмам.

Принцип действия воздушной подушки показан на рис. 82. До подачи сжатого воздуха паллета с установленным на ней грузом лежит на полу цеха, опираясь на металлические опорные плиты. При этом резиновые оболочки диафрагм свободны и не сминаются грузом (рис. 82, а). После подачи сжатого воздуха (давление 0,6 МПа) резиновые диафрагмы распрямляются и начинают поднимать груз над полом (рис. 82, б и в). При дальнейшем поступлении воздух проходит между полом и диафрагмой, образуя воздушную подушку. Теперь груз может свободно (вручную) перемещаться, не касаясь пола (рис. 82, г). Конвейеры на воздушной подушке универсальны и могут быть использованы для сборки различных изделий.

В Англии на одной из станкостроительных фирм [65] применяется поточная линия с транспортирующим конвейером на воздушной подушке для сборки четырех типоразмеров круглошлифовальных станков модели 1300. Линия сборки

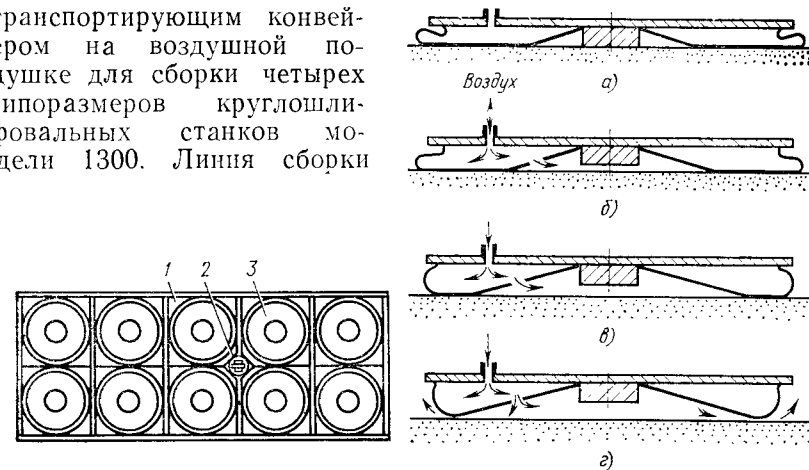


Рис. 81. Паллета с воздушными подушками (вид снизу)

Рис. 82. Принцип действия воздушной подушки

имеет путь длиной 50 м, состоящий из двух точно выполненных параллельных направляющих, на каждой из которой располагаются опоры на воздушной подушке для установки собираемых станков. Точная выверка положения станины станка, выполненная в начале линии, сохраняется на всех позициях сборки. На 14 позициях линии осуществляется полная сборка станка, его контроль и испытание в работе. Собранный и испытанный станок снимается в конце линии и передается в отделение окраски.

В ГДР используются конвейеры на воздушной подушке (грузоподъемность 3 тс) при сборке полиграфических машин. В нашей стране разработкой конвейеров на воздушной подушке для сборки станков занимается «Оргстанкинпром» и другие организации.

Важным фактором совершенствования технологии и организации сборочного производства является отраслевая специализация и концентрация изготовления однотипных изделий на одном или нескольких предприятиях. Например, в отрасли тяжелого и транспортного машиностроения на базе такой специализации организованы цехи и поточно-механизированные линии по сборке железнодорожных вагонов и цистерн, кранового, экскаваторного, металлургического и другого оборудования. При этом производство отдельных нормализованных сборочных единиц и механизмов общепромышленного применения обычно концентрируется на одном из заводов, что значительно повышает серийность их выпуска, создает благоприятные условия для совершенствования технологии и организации производства. Так, централизованное изготовление колодочных тормозов и систем смазки на Елгавском машиностроительном заводе «Елгавмаш», подшипников жидкостного трения и зубчатых муфт на Электростальском заводе тяжелого машиностроения дало возможность организовать их поточное производство, значительно повысить уровень механизации процессов.

В частности, на Электростальском заводе тяжелого машиностроения по проекту НИИПТмаша создан цех с поточно-механизированными линиями механической обработки и сборки зубчатых муфт № 1÷8 с общей годовой программой выпуска свыше 70 тыс. шт.

Сборка восьми типоразмеров зубчатых муфт осуществляется на участке (рис. 83) с двумя групповыми поточными линиями, рабочие места которых оснащены необходимыми средствами механизации (прессы для запрессовки пассивных болтов, гайковерты для завинчивания гаск и др.).

На основе конструктивно-технологической классификации изделий разработаны типовые сборочные процессы и организованы специализированные участки сборки редукторов, гидроаппаратуры, трубопроводов и рукавов гидросистем по проекту ЦНИИТтяжмаша (г. Свердловск), что позволило значи-

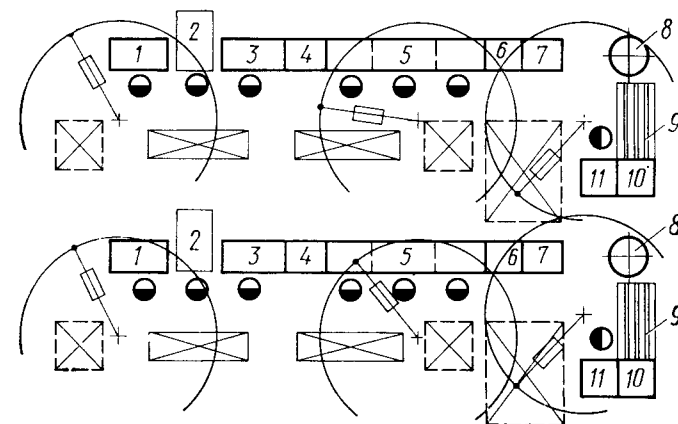


Рис. 83. Планировка участка с двумя поточно-механизированными линиями сборки зубчатых муфт:

1 — сборка обоймы; 2 — запрессовка пассивных болтов; 3 — установка уплотнения; 4, 6, 10 — каптовальщики; 5 — постановка шайб, завинчивание гаск пневмогайковертом, сборка зубчатых втулок, крепление уплотнений; 7, 11 — приемные столы; 8 — ванна со смазочным материалом для окунания муфт; 9 — решетка со смазосборником

тельно повысить производительность сборки и культуру производства.

На ПО «Уралмаш» применяются поточно-механизированные линии для сборки грязевых насосов буровых установок и спекательных тележек агломерационных машин, на Сибтяжмаше (г. Красноярск) освоена поточная линия сборки тележек мостовых кранов и др.

По разработкам ВНИПТИМа (г. Кемерово) на Черемховском машиностроительном заводе им. К. Маркса внедрен ряд участков групповой сборки и испытаний скважинных и шламовых насосов, оснащенных механизированными стендами. На рис. 84 приведена планировка участка групповой сборки, испытаний, окраски и упаковки шламовых насосов восьми типов, годовой выпуск которых составляет от 60 до 1000 шт. Сборка четырех типов насосов (масса от 1 до 1,3 т) осуществляется на поточной линии с механизированными стендами 3—5, оснащенными групповыми приспособлениями. Транспортировка изделий по ходу технологического процесса осуществляется с помощью кольцевого монорельса 2 с электротельферами. Комплектование деталей для сборки производится в механизированных элеваторных складах 1. Передача собранных насосов на участок испытательных стендов, в окрасочную 6 и сушильную 7 камеры производится рельсовой тележкой 8, для разворота которой служит поворотная платформа 9.

Для сборки крупных насосов (масса от 2 до 13,6 т) применяют стенды 10 с гидроприводом, установки для индукци-

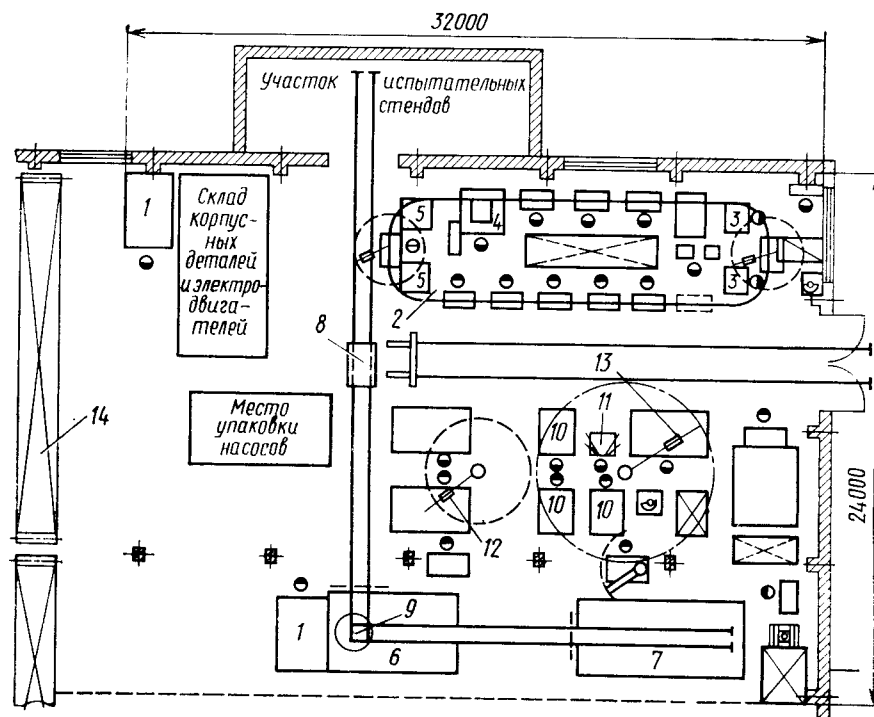


Рис. 84. Планировка участка групповой сборки, испытаний и окраски шламовых насосов

онно-тепловой сборки подшипников и полумуфт 11. Широко применяются средства малой механизации (гайко- и шпильковерты, шлифовальные машины и др.), которые для удобства их использования подвешены на поворотной консоли 12. Транспортировка сборочных единиц в процессе сборки осуществляется консольно-поворотным краном 13, а собранных насосов — мостовым краном 14. Для передачи крупных насосов на окраску проектом предусмотрена платформа на воздушной подушке грузоподъемностью 14 тс. Годовой экономический эффект от внедрения этого участка на заводе составил 63 тыс. руб. за счет повышения производительности труда на сборке.

Специализация изготовления различных изделий и сборочных единиц в значительной мере способствует повышению уровня оснащенности и механизации сборочных процессов. При этом наиболее целесообразно применение групповых переналаживаемых приспособлений, komponуемых из нормализованных элементов (УСП, СРП, УСПС и др.).

Своевременное и качественное изготовление изделий в значительной мере зависит от оперативно-производственного планирования сборочного производства. Оно организуется на основе плановых заданий выпуска готовой продукции сборочными цехами и участками в заданной номенклатуре.

Для предприятий с единичным и мелкосерийным типом производства наиболее рациональна позаказная система оперативно-производственного планирования. Планово-учетной единицей при этой системе является заказ на выпуск изделия или небольшой партии изделий. Когда длительность цикла сборочных работ более одного месяца, целесообразнее применять одну из разновидностей позаказной системы планирования, предусматривающую изготовление и подачу деталей по стадиям сборочного цикла или по собираемым сборочным единицам. В данном случае планово-учетной единицей является сборочная единица, необходимая для изготовления отдельного изделия или партии [63].

В решении задач планирования и управления производством эффективно используются ЭВМ. Разработка автоматизированных систем управления производством на базе ЭВМ с учетом конкретных условий предприятия дает возможность определить расчетным путем наиболее оптимальные варианты выполнения плановых заданий.

Как показывает опыт [39], весьма эффективной является комплектно-узловая система оперативного управления сборочными цехами единичного и мелкосерийного производства с применением ЭВМ. Она позволяет на основе разработанных машинограмм установить действенный контроль за соблюдением графиков по каждому изделию от запуска машины в производство до ее готовности, четко увязать материально-техническое снабжение с оперативно-календарным планированием, обеспечить своевременное и комплектное изготовление и отгрузку продукции заказчику.

Концентрация производства однотипных изделий с последующей организацией сборочных участков и поточных линий создает реальные предпосылки не только для механизации, но и для автоматизации отдельных сборочных операций.

Перспективным направлением в решении этого вопроса является использование промышленных роботов (манипуляторов с программным управлением), отличающихся широкой универсальностью и легкой переналаживаемостью. Промышленные роботы используются для автоматизации вспомогательных операций (транспортных, складских, погрузочно-разгрузочных), а также и основных технологических процессов (сварки, сборки, окраски и др.). Автоматизация сборочных процессов предъявляет к промышленным роботам повышенные требования к точности позиционирования и быстродействию. Анализ процессов

сборки показывает, что человек по сравнению с автоматом проигрывает в скорости выполнения операций закрепления, но лучше подает детали на сборку и ориентирует для предварительной сборки. Поэтому время и точность позиционирования деталей имеют решающее значение при создании сборочных роботов. К роботам в условиях серийного производства предъявляют также требования невысокой стоимости, возможности быстрой переналадки на сборку различных изделий, надежности в работе.

Выпускают промышленные роботы, используемые для подачи деталей на сборочные позиции и для съема сборочных единиц, а также для выполнения простых сборочных операций (сборка резьбовых соединений, сопряжения типа вал — втулка и др.). Большинство роботов имеют агрегатную конструкцию, и число их степеней подвижности не превышает четырех.

Создание прецизионных роботов, пригодных для автоматизации сборочных работ, представляет собой сложную проблему. При ее решении необходимо соблюдать следующие принципы [48]: число деталей в сборочной единице должно быть минимальным; осуществлять тщательный анализ технологичности деталей и сборочных единиц; обеспечивать заданную точность позиционирования (обычно в пределах $\pm 0,01$ — $0,1$ мм); применять повышенные требования к собираемым деталям (стабильность размеров, формы); производить подачу деталей в ориентированном виде; осуществлять построение технологического процесса по принципу дифференциации, что позволяет использовать специализированные роботы для выполнения типовых сборочных операций.

Следует отметить особую важность и сложность выполнения предшествующего автоматизации сборке этапа работ по изысканию наиболее технологичных вариантов конструкции деталей и сборочных единиц с учетом возможности применения роботов. Некоторые рекомендации по выбору рациональных видов соединений, облегчающих процесс автоматизации, приведены в работе [64].

В ЭНИМСе [12] создан экспериментальный переналаживаемый автоматический адаптивный сборочный комплекс на базе промышленного робота РВ50Ф2 с ЧПУ (рис. 82, а). Он предназначен для автоматизированной сборки в условиях серийного производства подшипниковых опор (рис. 85, б).

Сопряжение деталей по посадкам высокой точности обеспечивается за счет применения в рабочих инструментах устройств, компенсирующих погрешности установки деталей в требуемое для сборки положение. Все захваты и инструменты сборочного комплекса снабжены струйными коаксиальными датчиками.

Технологический процесс сборки опоры состоит из девяти переходов, последовательно выполняемых сборочным комплек-

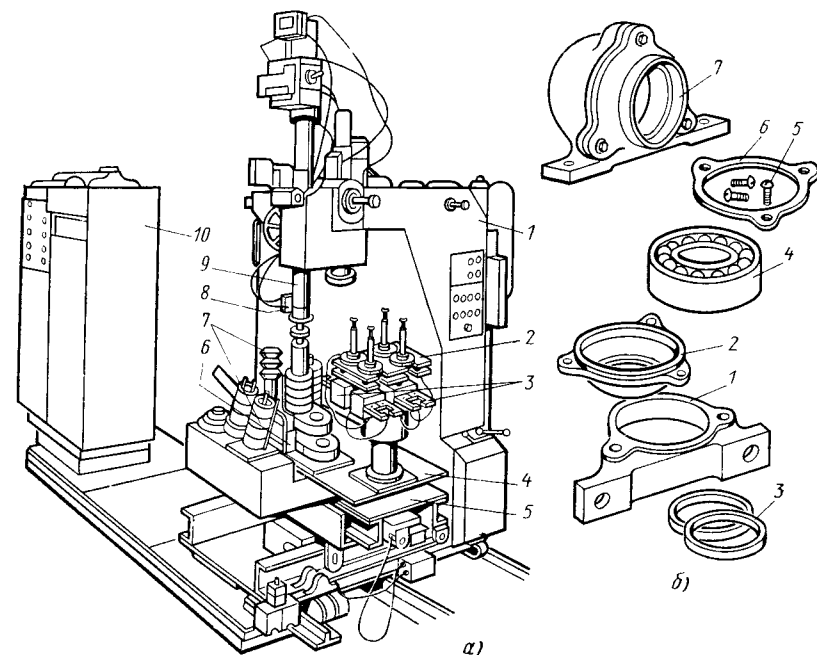


Рис. 85. Переналаживаемый сборочный комплекс на базе промышленного робота (а):

1 — промышленный робот; 2 — магазин быстросменных сборочных инструментов и захватов; 3 — быстросменные сборочные инструменты и захваты; 4 — плата; 5 — стол промышленного робота; 6 — приспособления для установки базовых деталей и сборки; 7 — кассеты с собираемыми деталями; 8 — пневморазъем; 9 — шпиндель промышленного робота; 10 — устройство ЧПУ;

б — собираемая подшипниковая опора:
1 — корпус; 2 — крышка; 3 — уплотнительные манжеты; 4 — подшипник; 5 — винт с пружинной шайбой; 6 — прокладка; 7 — опора в сборе

сом с помощью трех быстросменных инструментов и двух захватов.

Результаты исследования указанного сборочного комплекса показали его перспективность для автоматизации сборочных операций типовых сборочных единиц в условиях серийного производства. Дальнейшее внедрение такого оборудования требует предварительной работы по повышению технологичности конструкций собираемых изделий, унификации и стандартизации сборочных инструментов, а также концентрации производства однотипных изделий для достижения оптимальных партий их выпуска.

В ряде случаев целесообразно использовать промышленные роботы для комплексной автоматизации процессов изготовления деталей и их сборки. На рис. 86 показана схема линии для автоматизации процессов механической обработки валов и сборки их с роторами электродвигателей с помощью двух промышленных роботов «Unimate 2000». Линия разработана

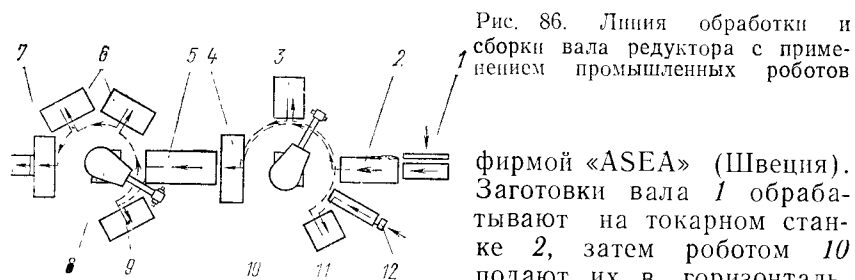


Рис. 86. Линия обработки и сборки вала редуктора с применением промышленных роботов

фирмой «ASEA» (Швеция). Заготовки вала 1 обрабатывают на токарном станке 2, затем роботом 10 подают их в горизонтальный пресс 4. Обработка отверстий роторов 12 осуществляется на протяжном станке 11. После нагрева в высокочастотной печи 3 роторы передаются роботом к прессу, где производится их сборка с валом, а затем в сборе они поступают для охлаждения в ванну 5. С помощью промышленного робота 8 вал в сборе с ротором переносится на шлифовальный станок 9 для обработки торцов, затем на два шлифовальных станка 6 для обработки цилиндрических поверхностей. После этого промышленный робот передает вал в сборе с ротором на балансировочную машину 7, и цикл изготовления заканчивается. Последовательность прохождения деталей на линии при выполнении операций показана на схеме стрелками.

В нашей стране созданы опытные образцы прецизионных сборочных роботов с пневмоприводом в Куйбышевском политехническом институте (микроробот) и Севастопольском приборостроительном институте (робот РС-3) грузоподъемностью соответственно 0,25 и 2 кг.

Ведутся также работы по созданию сборочных роботов в МВТУ им. Баумана, ЛПИ им. Калинина, НИИТракторосельхозмаше, НИИПТмаше и других организациях.

Тенденция развития робототехники за рубежом и в нашей стране свидетельствует о том, что в ближайшее время промышленные роботы будут получать все более широкое применение для автоматизации типовых сборочных операций.

Организационно-технические особенности сборки и контроля крупных изделий. При производстве крупногабаритных уникальных изделий (крупные экскаваторы, мощные прессы, прокатные станы, металлургические тяжелые краны и др.) не представляется возможным осуществить в условиях завода-изготовителя их полную сборку, контроль и испытания. Это обусловлено рядом организационно-технических трудностей, к которым относятся: недостаточная высота и площади сборочных цехов, невозможность испытания изделия в эксплуатационных режимах и т. п. Поэтому в таких случаях необходимо совершенствовать поузловую сборку и контроль отдельных сборочных единиц и комплектов, обеспечивая при этом гарантированную общую сборку изделия у заказчика. В решении этой задачи важная роль принадлежит размерной отработке

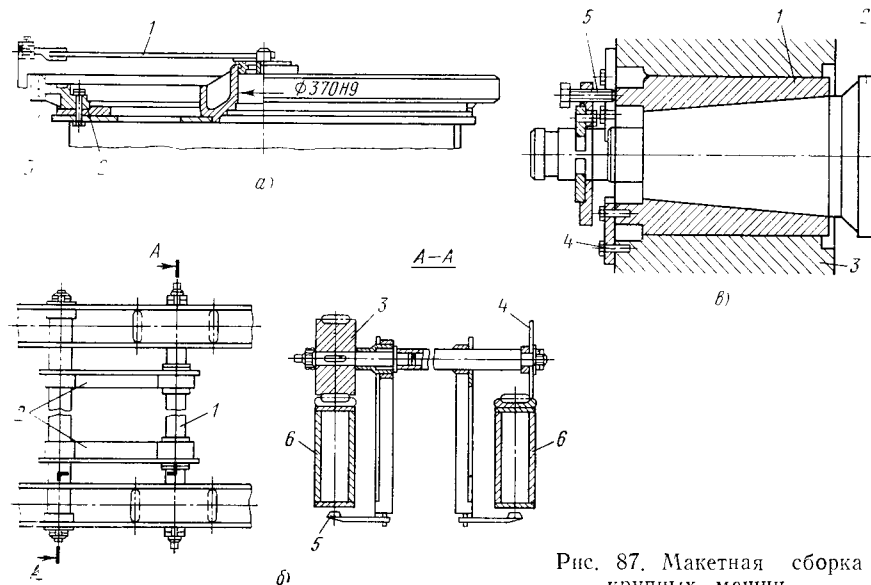


Рис. 87. Макетная сборка крупных машин

собираемости отдельных сборочных единиц, а также применению методов, заменяющих общую сборку изделия. Как показывает опыт тяжелого машиностроения [54] и других отраслей промышленности, к числу таких методов относятся макетная и цепная сборка, а также сборка с использованием карт измерений основных сопрягаемых элементов. Это позволяет резко сократить объемы пригоночных работ при общей сборке изделия у заказчика.

При макетном методе сборки сопрягаемость отдельных сборочных единиц достигается за счет использования несложных имитирующих макетов (приспособлений). Они должны с необходимой точностью обеспечивать контроль основных компоновочных размеров и положения составных частей изделия.

На рис. 87, а показана сборка ходовой тележки гусеничного экскаватора с применением макетного метода. Правильность установки зубчатого венца 3 на нижнюю раму 2 осуществляется выверкой с помощью приспособления-фляжка 1, базирующегося по центральному отверстию диаметром 370H9 в платформе. Путем поворота фляжка 1 вокруг оси платформы на 360° проверяют совпадение ее с осью зубчатого венца (допускаемое смещение осей не более 0,3 мм). Применение такого приспособления позволяет обойтись без общей сборки экскаватора, что значительно сокращает его общий цикл сборки.

Аналогичные приспособления-макеты используются для проверки установки зубчатого венца и рельса роликового кру-

га на неподвижную часть платформы при сборке шагающих экскаваторов.

Для комплексной проверки правильности сборки крупнобаритных (длиной более 7 м) рукоятей карьерных экскаваторов, имеющих две зубчатых рейки, применяют макет, имитирующий зубчатое зацепление напорного механизма стрелы. Макет (рис. 87, б) представляет собой тележку, состоящую из корпуса 2, двух осей 1, на которые посажены шестерни 3 (они копируют шестерни напорного механизма), катки 4 и упоры 5. Прокатывая макет-тележку по всей длине рукоятки б, контролируют ее размерные и геометрические параметры в соответствии с техническими требованиями. Использование макета обеспечивает собираемость рукоятки с напорным механизмом стрелы без выполнения контрольной сборки.

При сборке опорных подушек с валками клетей прокатных станов применяются макеты, имитирующие подшипники жидкостного трения, которые изготавливаются централизованно на Электростальском заводе тяжелого машиностроения и направляются непосредственно на монтаж стана заказчику.

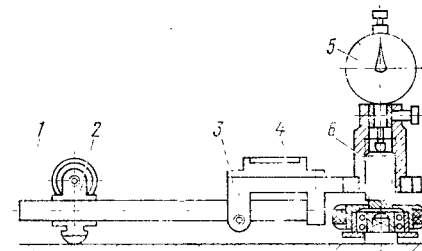
Точность относительного расположения сопрягаемых поверхностей (рис. 87, в) валка 2, макета (втулки) 1 и подушки 3 должна соответствовать характеру посадки подшипников жидкостного трения при монтаже стана. В процессе сборки сначала болтами 4 регулируют осевое положение макета в подушке, а затем болтами 5 достигается необходимое взаимное расположение макета и валка.

Применение таких макетов дает возможность создать на заводе-изготовителе сборочные единицы валков с подушками, необходимые для дальнейшей сборки рабочей клетки и проверки ее размерно-точностных характеристик.

Сборка цепным методом применяется при изготовлении машин большой длины, состоящих из отдельных соединенных между собой секций (прокатные станы, цементные печи, рольганги и др.). Например, при сборке рабочей клетки трубопрокатного стана с задним столом на ПО «Уралмаш» на первом этапе производят сборку рабочей клетки с первой секцией стола, после чего клетку разбирают и отправляют заказчику, а первая секция остается для сборки с последующими секциями стола. Такой метод не только обеспечивает требуемое качество сборки машины, но и высвобождает производственную площадь, сокращает общий цикл сборки.

Применяется также узловая сборка крупных машин с использованием карт измерений сопрягаемых элементов. При этом методе сборки производится расчет размерных цепей, определяющих сопряжение основных сборочных единиц. При этом разрабатывается специальная технология контроля на основные детали в процессе механической обработки и сбо-

Рис. 88. Шаговый мостик:
1 — направляющая труба; 2 — подвижная опора; 3 — кронштейн; 4 — уровень; 5 — индикатор; 6 — неподвижная опора



рочные единицы. Результаты таких измерений заносятся в специальные контрольные карты и служат исходными данными для выполнения общей сборки и монтажа изделия у заказчика.

При сборке крупных изделий выполняют различные контрольно-измерительные операции. Чаще всего проверяют отклонения от прямолинейности и плоскостности рабочих поверхностей станин, рам, корпусов и т. п.

Отклонение от плоскостности отдельных участков поверхности обычно контролируют с помощью контрольных плит и линеек «на краску» по пятнам касания или по блеску точек, оставленных на проверяемой поверхности после небольшого перемещения по ней контрольной плиты. Показателем качества является число пятен касания, приходящееся на площадь 25×25 мм. При этом устанавливаются следующие требования: для высокоточных соединений 25 пятен, для соединений обычной точности 10 пятен касания.

Однако проверка плоскостности «на краску» по числу пятен касания является в значительной мере субъективной, зависящей от квалификации рабочего, и может быть применима только для небольших поверхностей деталей. Поэтому простановка в чертежах и контроль допустимых отклонений от плоскостности в линейных величинах, отнесенных к заданной длине, является более объективным методом оценки качества обработки плоскости детали.

Наиболее распространенным методом проверки прямолинейности и плоскостности является применение контрольной линейки и двух мерных плиток. Величина отклонения от прямолинейности или плоскостности определяется измерением зазора между контрольной линейкой и проверяемой поверхностью с помощью микрометрического нутромера или шупа.

Широко применяются шаговые методы контроля прямолинейности и плоскостности деталей большой длины, заключающиеся в использовании специальных шаговых мостиков (рис. 88). Измерительный мостик переставляется на детали так, чтобы задняя опора мостика, переставленного в следующую позицию, занимала место передней опоры в предыдущей позиции.

При шаговом методе измерения не происходит накопления систематических погрешностей единичных измерений, в ре-

зультате чего повышается точность контроля. При цене деления уровня, установленного на мостике, равной $0,1/1000$ мм/мм и длине базы мостика 500 мм погрешность измерения составляет не более $\pm 0,03$ мм. По результатам измерений можно построить график отклонений поверхности от прямолинейности или плоскостности.

Распространенными средствами измерения отклонений от прямолинейности деталей являются уровни. Наряду с общизвестными конструкциями гидростатических уровней (с ампулой и пузырьком) в последнее время получили применение измерительные приборы на базе маятниковых индуктивных уровней, выпускаемых Московским инструментальным заводом «Калибр» [23].

Большое распространение в отечественной и зарубежной практике получили оптические методы контроля прямолинейности и горизонтальности плоскостей большой протяженности с помощью коллиматоров и автоколлиматоров. Погрешность проверяемой поверхности определяют по величине смещения на шкале окуляра отраженного от зеркала (передвигаемого по проверяемой поверхности) луча, который выходит из оптической трубы и возвращается в систему автоколлиматора. Этот метод используют для точной установки и выверки деталей и сборочных единиц при монтаже крупных машин. Достигаемая при этом точность измерения равна $0,02—0,05$ мм на длине 30—40 м.

Для контроля прямолинейности и плоскостности плит, длинных направляющих станин при точном их шабрении, а также соосности валопроводов целесообразно применять оптическую струну ДП477 конструкции Ленинградского оптико-механического завода, обеспечивающую высокую точность измерения ($\pm 0,2''$ на длине до 30 м).

Измерение отклонений контролируемой поверхности, наблюдаемых при перемещении марки, осуществляется в ДП477 по барабану компенсатора как смещение изображения светящейся точки относительно окулярной сетки визирной трубы. Показания прибора даются непосредственно в линейных величинах. Имеется также записывающее устройство, позволяющее быстро получать профиль измеряемой поверхности.

Для контроля прямолинейности и плоскостности изделий большой протяженности находят применение приборы на основе газовых лазеров. Они могут быть использованы для выверки направляющих станин металлорежущего и другого оборудования в двух взаимно перпендикулярных направлениях при его монтаже, контроля соосности отверстий и др.

Контроль перпендикулярности плоскостей различных корпусных деталей чаще всего осуществляют с помощью стандартных угольников. Величина отклонений проверяется с по-

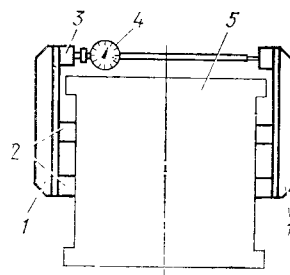


Рис. 89. Линейка с магнитными приставками для контроля крупных деталей

мощью щупов, концевых мер длины или индикаторов. Точность проверки — до $0,02$ мм на 1 м длины.

Отклонения от перпендикулярности поверхностей крупногабаритных деталей измеряют с помощью уровня и отвеса, а также с применением автоколлиматоров. Для измерения расстояния между плоскостями и отклонения их от параллельности в труднодоступных местах крупных деталей (например, имеющих ступенчатую форму), где невозможно применить стандартные угольники и линейки, целесообразно использовать специализированные скобы, линейки и т. п. с магнитными приставками. Например, для измерения отклонений от параллельности направляющих плоскостей подушек прокатных станов НИИПТмашем разработаны и внедрены на НКМЗ (рис. 89) линейки Т-образного профиля 1, имеющие магнитные опоры 2 и измерительные губки 3. Магнитные опоры снабжены постоянными магнитами, развивающими необходимую силу прижима линейки к измеряемым поверхностям детали 5. Измерением расстояния с помощью индикаторного нутромера 4 между поверхностями на различных участках определяют отклонение от параллельности направляющих поверхностей.

Подобные магнитные приставки применяют для контроля при сборке различных крупных узлов прокатного, кузнечно-прессового и другого оборудования.

Соосность разъемных подшипников скольжения при сборке проверяют контрольной линейкой и щупом или струной и штихмасом. Для контроля в процессе сборки соосности и перекоса осей валов больших диаметров целесообразно применять переналаживаемые приспособления (рис. 90). Приспособление призматической опорой устанавливают на конец вала 1 и закрепляют с помощью регулируемой охватывающей цепи 9 винтовым зажимом 10. После этого державку 4 с индикатором 6 перемещают по стойке 5 до тех пор, пока кончик не коснется поверхности вала 8 (с натягом не менее $0,5—1$ мм) и закрепляют ее на стойке винтом 3. Вращая вал 1 с приспособлением относительно вала 8, определяют по индикатору 6 их биение. Отклонение от соосности валов будет равно половине зафиксированной индикатором величины биения.

Для проверки взаимного перекоса осей валов следует предварительно настроить приспособление на шейке одного вала. Для этого устанавливают в державку 4 еще один индикатор 7, а затем державку — в нужное положение по высоте и фиксиру-

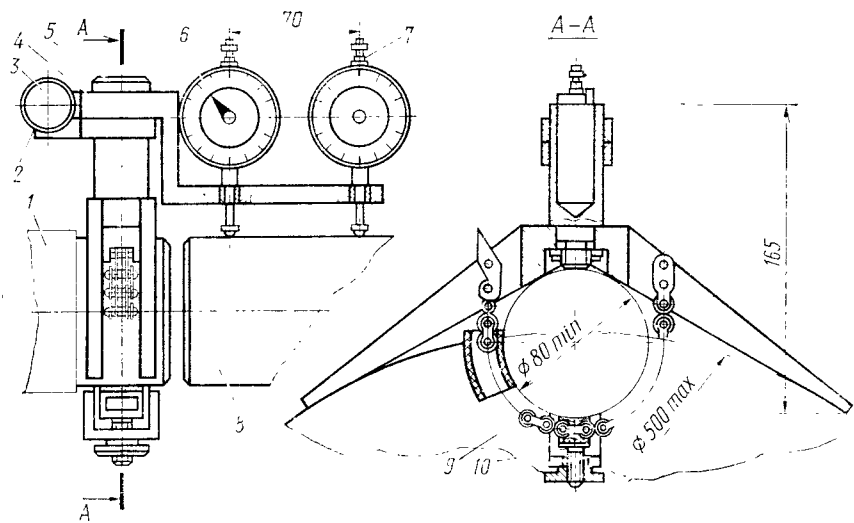


Рис. 90. Переналаживаемое приспособление для контроля соосности и перекоса осей валов

ют хомутиком 2. Покачивая державку вокруг оси стойки 5, находят верхнюю точку поверхности вала и закрепляют ее винтом 3. В результате индикаторы 6 и 7 будут расположены вдоль оси вала, на котором размещено приспособление. Оба индикатора настраивают на нуль. Настроенное приспособление перемещают и закрепляют на конце вала 1 так, чтобы оба индикатора касались поверхности другого вала. При вращении вала 1 по разнице в показаниях индикаторов определяют взаимный перекос осей валов. Переналаживаемое приспособление обеспечивает проверку валов в широком диапазоне их диаметров (от 80 до 500 мм).

Методы и средства контроля, применяемые при выполнении наиболее распространенных видов сборочных операций (сборка резьбовых, прессовых соединений, зубчатых передач и др.), рассмотрены в соответствующих главах.

После окончательной сборки основные параметры изделий контролируют в соответствии с техническими условиями на изготовление. Для этих целей используются как универсальные, так и специализированные средства измерения.

Организация рабочего места слесаря-сборщика. В комплексе работ по научной организации труда, основанной на достижениях современной науки и передового опыта, важную роль играет организация рабочих мест. Рабочее место слесаря-сборщика — это часть производственной площади цеха или участка с соответствующим оборудованием, приспособлениями, инструментом и инвентарем, необходимым для выполнения

определенных видов работ одним рабочим или бригадой рабочих. Правильно организованное рабочее место — важнейший источник повышения производительности труда и качества выполняемых работ.

Рациональная организация рабочего места должна удовлетворять следующим основным требованиям: а) обеспечению условий высокопроизводительной работы при минимальной затрате сил и времени слесаря-сборщика; б) рациональному использованию производственных площадей, удобству обслуживания рабочего места; в) обеспечению соблюдения правил охраны труда и техники безопасности.

Планировка и оснащение рабочих мест сборщиков отличаются большим разнообразием и в значительной степени зависят от характера производства, габаритных размеров и массы собираемых изделий.

В единичном и мелкосерийном производстве рабочее место слесаря-сборщика приспособлено для сборки разнообразных изделий. Поэтому оно оснащается преимущественно универсальным оборудованием, приспособлениями, инструментом.

На групповых поточно-механизированных участках и линиях рабочие места оснащают с учетом закрепленных за ними определенных видов сборочных операций. Чаще всего здесь применяют переналаживаемые приспособления или стенды.

В состав основного оборудования и технологического оснащения рабочих мест сборщиков обычно входят верстаки или рабочие столы с комплектом технологической оснастки постоянного пользования; столики, подставки, полки, стеллажи для промежуточного хранения деталей и материалов, а также собираемых изделий; комплект слесарного режущего и мерительного инструмента постоянного пользования, универсальное и специальное оборудование (тиски, прессы, ванны и т. п.), а также приспособления, стенды и кантователи для выполнения наиболее распространенных сборочных операций; механизированный инструмент, постоянно находящийся на рабочем месте, а также подвески и специальные устройства для него; местные подъемно-транспортные средства, закрепленные за рабочим местом (тельферы, поворотные кран-балки, тележки и т. д.); решетки под ноги и поворачивающиеся рабочие кресла.

Для облегчения ручного труда целесообразно оснащать рабочие места пружинными и балансируемыми устройствами для подвешивания различного механизированного инструмента. Хорошо себя зарекомендовали пружинные балансиры (рис. 91) различной грузоподъемности (от 50 до 700 Н), выпускаемые опытно-экспериментальным заводом НПО «ВИТстройдормаш» (г. Куйбышев). Принцип действия балансира основан на равенстве моментов, образующихся от действия силы тяжести подвешенного груза и скручивания спиральной ленточной пружины.

Рис. 91. Пружинный балансир:
1 — барабан; 2 — корпус; 3 — червячная пара; 4 — канат;
5 — ленточная пружина

жины 5. Его настройка производится червячной парой 3. Рабочая зона балансировки груза по высоте равна 1,7 м.

Аналогичные балансиры десяти модификаций с максимальной грузоподъемностью 800 Н производит НПО «Мехинструмент» Минстройдормаша.

Для сверлильного и резьбонарезного инструмента также можно применять различные подставки и стойки, в том числе и с электромагнитным креплением.

Кроме основного технологического оборудования, приспособлений и инструмента, на рабочем месте сборщика имеется различная оснастка: тумбочки, этажерки, планшеты для технической документации, столы, производственная тара и др. Оснащение рабочих мест рациональной организационной оснасткой способствует повышению производительности и культуры труда сборщиков.

На рис. 92 показана одна из типовых планировок рабочего места бригады слесарей-сборщиков для условий единичного и мелкосерийного производства.

При планировке рабочего места все предметы труда и инструменты необходимо стараться располагать с учетом антропометрических и физиологических данных слесаря-сборщика и рациональной организации его рабочих движений. Прежде всего следует учитывать пределы досягаемости вытянутых рук и наиболее удобных зон движения, наименее утомительных положений рук, корпуса, головы и ног, пределов обзора в вертикальном и горизонтальном положениях, углов видимости и т. д.

Для удобного размещения деталей большое значение

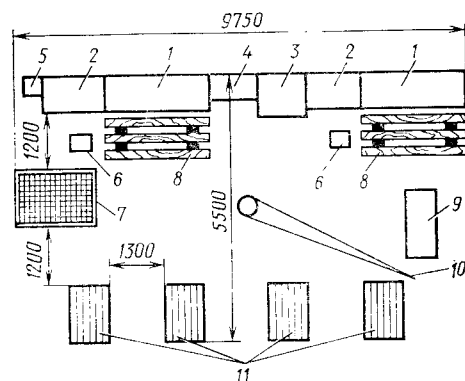
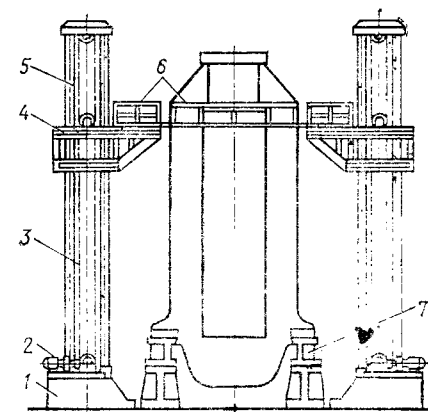


Рис. 92. Типовая планировка рабочего места бригады слесарей-сборщиков:

1 — слесарный двухтумбовый верстак; 2 — стол; 3 — стол для технической документации; 4 — двухсекционный шкаф; 5 — урна; 6 — педально-поворотный стул; 7 — подставка для деталей; 8 — решетка под ноги; 9 — стеллаж; 10 — консольно-поворотный кран; 11 — стол

Рис. 93. Организационная оснастка, применяемая при общей сборке крупных изделий:

1 — основание; 2 — механизм подъема; 3 — цепная передача; 4 — подъемная площадка; 5 — стойка; 6 — переходная площадка; 7 — подставка



ние имеет конструкция тары, в которой они хранятся на рабочем месте. Обычно детали средних размеров массой до 5 кг, которые могут загромождать верстак, располагают рядом на стеллажах. Более крупные и тяжелые детали размещают вблизи верстака на полу или на невысоких стеллажах.

Поддержание чистоты и порядка, создание здоровых и безопасных условий труда являются важными составляющими элементами научной организации труда на рабочем месте. При этом большое значение придается общему и местному освещению, а также эстетическому оформлению всех элементов рабочего места.

При общей сборке крупногабаритных изделий (особенно имеющих большие размеры по высоте) широко применяется различная организационная оснастка (подставки, лестницы, помосты, площадки и др.), обеспечивающая удобство и безопасность проведения сборочных работ на высоте. Чаще всего такая организационная оснастка имеет сборно-разборную конструкцию, состоящую из нормализованных элементов, что создает возможности перекомпоновки ее для различных изделий.

В качестве примера на рис. 93 показано применение механизированных помостов и переходных площадок, обеспечивающих удобство работы на высоте при сборке станин клетей прокатных станов и других изделий.

Важным фактором улучшения организации труда является совмещение профессий при сборочных работах. Это особенно важно при бригадной форме труда, которая облегчает передачу передового опыта, позволяет лучше осуществлять товарищескую взаимопомощь в работе и оказывает воспитательное воздействие коллектива на каждого члена бригады. При этом необходимо также учитывать социологические факторы, связанные с возросшим уровнем квалификации, образования и культуры рабочих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Г. Я., Лактионов Н. М., Морозов А. Н. Индукционно-тепловой способ сборки зубчатых венцов с эксцентриками кривошипных прессов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 6, с. 31—33.
2. Андреев Г. Я., Кушаков В. И., Аушев С. В. Универсальный станок для индукционно-тепловой сборки канатных шкивов с подшипниками качения. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1975, № 7, с. 39—41.
3. Апарцева Е. П., Батизат В. П., Петрова А. П. Применение клеев в машиностроении. — Вестник машиностроения, 1978, № 5, с. 47—50.
4. Бабаев С. Г., Садыгов П. Г. Притирка и доводка поверхностей деталей машин. М.: Машиностроение, 1976. 128 с.
5. Беляев Г. С. Исследование процесса притирки уплотнительных поверхностей затворов трубопроводной арматуры из титановых сплавов. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1978, № 4, с. 27—28.
6. Блаер И. Л. Упругий элемент для контроля усилий в резьбовых соединениях. — Энергомашинное строительство, 1978, № 5, с. 42—43.
7. Брагинский В. М., Гольдштейн Б. Г. Виброзащита ручных шлифовальных машин. — Строительные и дорожные машины, 1978, № 11, с. 27—30.
8. Власов В. В., Венгер Е. П. Гайковёрты для затяжки резьбовых соединений больших диаметров. — Механизация и автоматизация производства, 1979, № 8, с. 14—15.
9. Гальперин А. И. Машины и оборудование для гнутья труб. М.: Машиностроение, 1967. 178 с.
10. Гельфанд М. Л., Ципенюк Я. И., Кузнецов О. К. Сборка резьбовых соединений. М.: Машиностроение, 1978, 109 с.
11. Гехтман Э. И. Современные средства малой механизации. Рига: Лиезма, 1978. 241 с.
12. Годович Г. М., Козырев Ю. Г., Круковец Л. В. Автоматизация сборочных операций в серийном производстве изделий машиностроения. — Станки и инструмент, 1980, № 5, с. 3—5.
13. Горбунов Б. И., Жабин А. И., Мартынов А. П. Устранение неуравновешенности методом растачивания. — Известия вузов. Машиностроение, 1972, № 7, с. 154—159.
14. Дунаев П. Ф. Размерные цепи. М.: Машгиз, 1963. 308 с.
15. Дроздов Н. А., Григорьев Л. А. Затяжка резьбовых соединений большого диаметра. — Вестник машиностроения, 1973, № 11, с. 26—30.
16. Жабин А. И. Механизация и автоматизация сборочных работ в единичном и мелкосерийном производстве. — Механизация и автоматизация производства, 1977, № 8, с. 18—23.
17. Жабин А. И., Кноблех В. П. Пресс для изготовления прокладок. — Машиностроитель, 1978, № 1, с. 15.
18. Жабин А. И., Мартынов А. П. Собираемость крупных зубчатых зацеплений на основе расчета сборочных размерных цепей. — Вестник машиностроения, 1973, № 1, с. 43—46.
19. Жабин А. И., Мартынов А. П., Кубарев А. И. Оценка качества технологических процессов сборки в единичном и мелкосерийном производстве. — Вестник машиностроения, 1979, № 8, с. 40—42.
20. Жабин А. И., Ишук А. Ф. Прочность и жесткость клеерезьбовых соединений в элементах универсально-сборной и переналаживаемой оснастки. — Вестник машиностроения, 1980, № 1, с. 49—51.
21. Жабин А. И., Мартынов А. П., Кноблех В. П. Анализ точности монтажа подшипников в крупные разъемные корпуса. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИПТИ, 1973, № 2, с. 64—67.
22. Жабин А. И., Мартынов А. П., Черепанов С. В. Технология и механизация сборки в единичном и ремонтном производстве. М.: Машиностроение, 1978. 63 с.
23. Завгородний Ю. П., Архангельский Ю. С., Шаманин В. А. Сборочные процессы в станкостроении. М.: Машиностроение, 1979. 48 с.
24. Завгородний Ю. П., Готлиб Э. Э. Установки для охлаждения деталей при сборке. — Механизация и автоматизация производства, 1975, № 1, с. 13—14.
25. Замятин В. К. Влияние психологических факторов на организацию сборочных процессов. — Машиностроитель, 1978, № 8, с. 43—44.
26. Исаев А. И., Жабин А. И. Сборка крупных машин. М.: Машиностроение, 1971. 136 с.
27. Исмак В. Ф. Погрешность кинематических редукторов. — Измерительная техника, 1977, № 2, с. 58—59.
28. Ковалев И. А., Бородулин М. В. Исследование вибрационного состояния валопровода, состоящего из роторов, отбалансированных на разгонном стенде. — Энергомашинное строительство, 1976, № 3, с. 9—12.
29. Колесов И. М. Служебное назначение изделия и технические условия. М.: Знание, 1977. 64 с.
30. Коновалов Е. Г., Сакулевич Ф. Ю. Основы электроферромагнитной обработки. Минск: Наука и техника, 1974. 272 с.
31. Койре В. Е. Чистовая обработка крупногабаритных деталей. М.: Машиностроение, 1976. 117 с.
32. Койре В. Е., Витушкин В. И., Кремень Г. З. Новый способ чистовой обработки шпоночных пазов на валах. — Вестник машиностроения, 1979, № 6, с. 48—50.
33. Коринюк В. Г. Типизация процессов сборки в тяжелом машиностроении. — В сб.: Производство крупных машин, вып. 25. М.: Машиностроение, 1975, с. 200—205.
34. Крюковских Н. Д. Принципиальные особенности поточной технологии сборки фрезерных станков. — Механизация и автоматизация производства, 1979, № 8, с. 6—8.
35. Кушаков В. И., Лисютин А. Н., Косяк Э. Ю. Индукционно-тепловая многоэлементная сборка с натягом крупногабаритных деталей. — Механизация и автоматизация производства, 1977, № 10, с. 13—14.
36. Литвиненко В. П. Приспособления, расширяющие возможности металлорежущих станков. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИПТИ, 1975, № 3, с. 24.
37. Мартынов А. П. Устройства для статической балансировки. М.: НИИинформтяжмаш, 20-73-95, 1973. 4 с.
38. Митин В. М., Сошников Б. М., Шрайбман И. М. Технологические основы оптимизации сборочных процессов в приборостроении. М.: Машиностроение, 1979. 128 с.
39. Морозова М. М. Оперативное управление сборочными цехами с применением ЭВМ. — Строительные и дорожные машины, 1975, № 7, с. 35—36.
40. Мовшович И. Я. Система универсально-сборных штампов для листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 174 с.
41. Монтаж приборов и средств автоматизации/К. А. Алексеев, В. С. Антипин, Г. С. Борисова и др. Справочник под ред. А. С. Ключева 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1979. 728 с.
42. Научные основы автоматизации сборки машин/Под ред. М. П. Новикова. М.: Машиностроение, 1976. 472 с.
43. Николаев И. В. Виброзащищенные пневматические машины ударного действия. — Машиностроитель, 1975, № 10, с. 27—28.
44. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 532 с.
45. Осадчий Н. А., Стрелец В. И., Яновец Д. В. Организация сборки винтовых компрессоров. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИПТИ, № 8, с. 60—61.
46. Основы балансировочной техники. Т. 1. Под ред. В. А. Щепетильникова. М.: Машиностроение, 1975. 528 с.
47. Петрунин И. Е., Лоцманов С. Н., Николаев Г. А. Пайка металлов. М.: Металлургия, 1973. 280 с.
48. Попов Г. В. Применение промышленных роботов в сборочном производстве. М.: ЛДНТП, 1978. 24 с.

49. Прогрессивная технология сборки нефтепромысловых машин и оборудования/С. Г. Султанов, А. Я. Райхель, М. Е. Листенгартен и др. М.: Машиностроение, 1975. 186 с.
50. Рахманов Н. Н. Новые неразъемные соединения. — Машиностроитель, 1980, № 4, с. 16.
51. Репин Ф. Ф., Халибердов А. К. Разработка технологической документации с помощью средств вычислительной техники. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИИТИ, 1976, № 10, с. 13—15.
52. Романов Г. Д. Ускоренные методы проектирования технологических процессов сборки. — Машиностроитель, 1976, № 7, с. 30—31.
53. Сборка тяжелых машин на воздушной подушке. — Строительные и дорожные машины, 1978, № 4, с. 30—33.
54. Сборка машин в тяжелом машиностроении/Б. Ф. Федоров, Ю. А. Вавуленко, В. Г. Коршнюк и др. М.: Машиностроение, 1981, 256 с.
55. Система автоматизированного проектирования технологических процессов сборки рольгангов/А. П. Мартынов, А. И. Жабин, В. В. Трембач и др. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИИТИ, 1980, № 3, с. 11—12.
56. Справочник технолога-сборщика станков/В. Ф. Жданович, А. М. Соболев, Т. С. Элисман и др. М.: Машиностроение, 1971. 247 с.
57. Справочник металлиста. В 5 томах. Т. 4. М.: Машиностроение, 1977. 612 с.
58. Трубочанин В. А., Бритва Г. М., Сердюков В. П. Применение крупногабаритных универсально-сборных штампов на заводах тяжелого машиностроения. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИИТИ, 1976, № 4, с. 34—37.
59. Фабринович Ю. Ю., Ягнятинский А. Л., Гойгалиене. Глушители шума пневмогайковертов. — Машиностроитель, 1978, № 7, с. 27.
60. Шавырин В. Н., Айдреев Н. Х., Ицкович А. А. Клеемеханические соединения в технике. М.: Машиностроение, 1968. 230 с.
61. Шварцбург Б. И. Технология производства гидравлических машин. М.: Машиностроение, 1978. 352 с.
62. Эпштейн Д. И., Харченко С. А. Нормативы времени для укрупненного нормирования слесарно-сборочных работ. — Машиностроитель, 1972, № 8, с. 35—37.
63. Юзепчук С. А. Техно-экономические основы сборочных процессов в машиностроении. М.: Машиностроение, 1977. 230 с.
64. Юревич Е. И., Аветиков Б. Г., Корытко О. Б. Применение роботов на сборочных операциях. — Технология и организация производства. Киев: УкрНИИИТИ, 1975, № 7, с. 63—65.
65. Astor A. W. Air-bearing transfer on new assembly line for Tand S grinding machines. — Mach. and Prod. Eng., 1977, 119, N. 3060, 2—9.
66. Fischer S. Klassifizierung von Baugruppen im Druckmaschinenbau. — Der Maschinenbau, 1971, 20, H. 4, S. 168—171.
67. Gäng L., Wagner T. Systematik zur optimalen Auswahl geeigneter Entgratanlagen. — Maschinenmarkt, 1977, Nr. 41, S. 785—789.
68. Jarek Julian. Group parts small runs. — Iron Metalwork. Int., 1973, 12, N. 11, 10.
69. Lange H., Pleschak F. Strategie für AUTOVE muss aus Prognose abgeleitet werden. — Fertigungstechnik und Betrieb, 1971, Nr. 2, 11—15.
70. Leisender L. Rationelles Rohrbiegen mit rechnergestütztem Rohrbiegesystem. — Bänderblech Rohre, 1977, Nr. 11, 488—490.
71. Neubert G. Stand und Perspektive der technologischen Vorbereitung von Montageprozessen. — Fertigungstechnik und Betrieb, 1970, Nr. 9, S. 518—522.
72. Some developments in deburring processes. — Mach. and Prod. Eng., 1970, N. 3030, S. 933.
73. Schilling W. Montagetechnologisch orientierte Klassifizierung von Baugruppen. — Fertigungstechnik und Betrieb, 1973, 12, S. 539—541.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Общая характеристика сборочных процессов и повышение собираемости изделий	6
Механизация слесарных и пригоночно-доводочных работ	36
Механизация сборочных работ	69
Особенности сборки и испытания типовых сборочных единиц	98
Технологическая подготовка и организация сборочного производства	144
Список литературы	182

