ДЛЯ ВУЗОВ

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

В двух томах

ТОМ 2

Под редакцией В.В. Бушуева

Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям "Технология машиностроения", "Металлообрабатывающие станки и комплексы" направления подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"

МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2011

УДК 621.9
ББК 34.63-5
М54

Рецензенты:
доктор техн. наук М. П. Козочкин
кафедра «Металлорежущие станки»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Авторы: В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло, В.М. Макаров, Ю.В. Мещеряков, В.В. Молодцов, П.В. Подзоров, Ф.С. Сабиров, А.Г. Схиртладзе, А.Н. Феофанов, А.В. Чурилин, В.Н. Шурков

М54 **Металлорежущие станки:** учебник. В 2 т. Т. 2 / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 2. — М.: Машиностроение, 2011. — 586 с.; ил.

ISBN 978-5-94275-593-5
ISBN 978-5-94275-595-9 (Т. 2)

Описаны станки основных групп (токарные, фрезерные, расточные, сверлильные, шлифовальные, зубообрабатывающие и др.), а также автоматические линии и ГПС. Рассмотрены станки для сверхточной, сверхскоростной обработки и станки с параллельной кинематикой. Приведены основные сведения об испытаниях, эксплуатации, модернизации и ремонте оборудования.

Учебник предназначен главным образом для студентов конструкторских и технологических специальностей и может быть использован инженерно-техническими работниками машиностроительных предприятий.

УДК 621.9
ББК 34.63-5

ISBN 978-5-94275-593-5
ISBN 978-5-94275-595-9 (Т. 2)

© Авторы, 2011
© ООО «Издательство Машиностроение», 2011

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и ссылкой на источник информации.

Предисловие

В предложенном учебнике (т. 2) приведены сведения о современных станках основных групп. Рассмотрены назначение станков, типовые технологические процессы, технические характеристики, вопросы обслуживания, компоновка, кинематические схемы, конструкции наиболее характерных узлов и оригинальных приспособлений. Описаны токарные, фрезерные, сверлильные, расточные, отделочные, резьбообрабатывающие, зубообрабатывающие, протяжные, заточные, затыловочные, отрезные, шлифовальные, многоцелевые, агрегатные, электроэрозионные, лазерные, ультразвуковые станки, а также автоматические линии различных типов и гибкие производственные системы. Освещены выявившиеся в последнее время тенденции развития этих станков и вопросы эксплуатации, контроля, ремонта и модернизации станочного оборудования. Приведены основные сведения о станках для водоабразивной, сверхточной, высокоскоростной обработки и особенности станков с параллельной кинематикой.

Книга иллюстрирована схемами, рисунками, таблицами, что улучшает восприятие материала и позволяет использовать учебник при реальном конструировании.

Авторы с благодарностью примут замечания, направленные на улучшение содержания и изложения материала.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Токарные станки

1.1. Токарно-винторезные станки

1.1.1. Общие сведения

Станки для токарной обработки (точения) составляют значительную долю в парке металлорежущего оборудования (до 30...40%) и предназначены для обработки наружных, внутренних и торцовых поверхностей деталей типа тел вращения, а также для нарезания резьбы. Главным движением в токарных станках является вращение заготовки, инструмент же осуществляет прямолинейное продольное или поперечное движение подачи.

Токарно-винторезные станки, как с ручным управлением, так и с ЧПУ, являются наиболее универсальными станками токарной группы для обработки деталей типа валов, дисков и втулок и обеспечивают выполнение следующих основных видов работ (рис. 1.1): обтачивание резцами наружных цилиндрических (*а*)

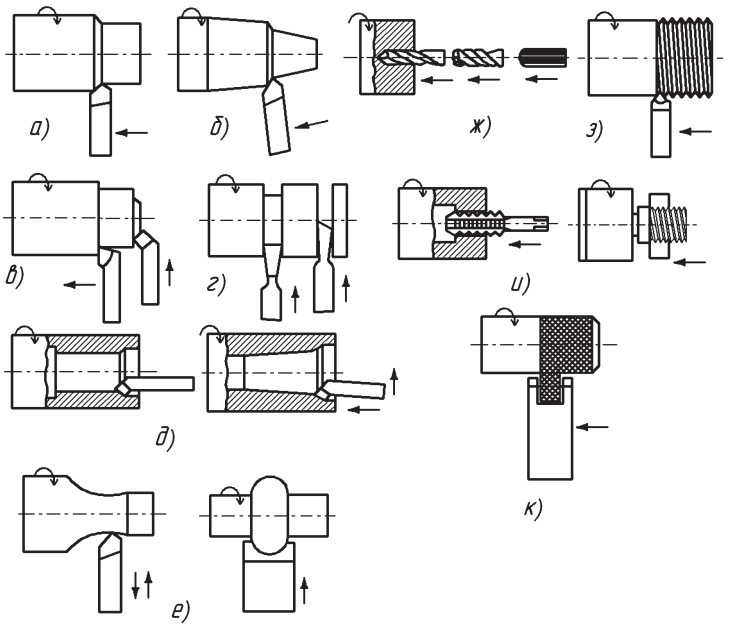


Рис. 1.1. Типовые операции, выполняемые на токарных станках

и конических (*б*) поверхностей; обработку торцовых поверхностей (*в*); прорезку канавок и отрезку (*г*); растачивание цилиндрических и конических отверстий (*д*); фасонное точение (*е*); сверление, зенкерование и развертывание отверстий (*ж*); нарезание наружной и внутренней резьб резцами (*з*), метчиками и плашками (*и*). На них можно производить также накатывание рифленых поверхностей (*к*), выглаживание и раскатку поверхностей.

1.1.2. Компоновка, основные узлы и характерные параметры

Станки с ручным управлением в подавляющем большинстве случаев имеют горизонтальную компоновку, удобную для обслуживания и наблюдения за зоной обработки. На рис. 1.2 показаны важнейшие узлы станка. Обрабатываемая заготовка, закрепленная в патроне *1*, получает вращение от коробки скоростей, расположенной в шпиндельной (передней) бабке *9*, связанной ременной передачей с приводным двигателем, обычно расположенным в тумбе станины *7*. Инструмент, устанавливаемый в резцедержателе, закрепленном на суппорте *2*, получает продольное и поперечное перемещение через коробку подач *8* и фартук *5*. При нарезании резьбы резцом продольное перемещение суппорта осуществляется от ходового винта *4*; для остальных операций используются ходовой валик *6* и зубчатая рейка. Задняя бабка *3* служит для поддержания длинных заготовок, а также иногда для закрепления и перемещения осевого инструмента, предназначенного для обработки центровых отверстий.

Основными параметрами токарно-винторезных станков, определяющими его рабочее пространство, являются наибольший диаметр D (рис. 1.3) обрабатываемой заготовки, устанавливаемой над станиной, и наибольшее расстояние между центрами передней и задней бабок, которое ограничивает наибольшую длину обрабатываемой заготовки. Диаметр D приблизительно равен удвоенной высоте центров H, измеряемой от горизонтальной плоскости направляющих. Важным размером станка является также наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, устанавливаемой над суппортом D_1. По максимальному диаметру токарно-винторезные станки выпускаются в пределах размерного ряда с $\varphi = 1{,}25$ от 100 до 6300 мм. Станки с одним и тем же диаметром могут иметь различные межцентровые расстояния, которые в тяжелых станках доходят до нескольких десятков метров.

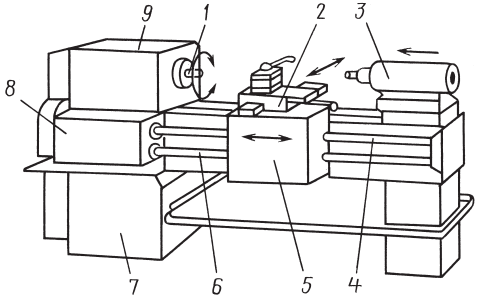


Рис. 1.2. Компоновка токарно-винторезного станка

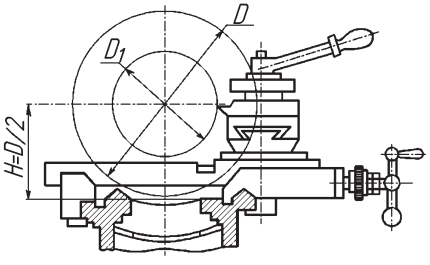


Рис. 1.3. Обрабатываемые на станке заготовки

При правильной эксплуатации на станках среднего размера нормальной точности могут быть получены поверхности по 8...7-му квалитету точности с шероховатостью *Ra* не более 3,2...1,6 мкм. На специальных особо точных токарных станках при применении инструмента из монокристаллических алмазов можно получать поверхности с погрешностью формы, определяемой десятыми долями микрометра и шероховатостью *Rz* до тысячных долей микрометра.

1.1.3. Конструкция станков

Приводы главного движения. Для изменения частоты вращения шпинделя в легких токарно-винторезных станках часто применяют ступенчато-шкивные передачи с клиновым или плоским синтетическим ремнем. В большинстве современных моделей станков средних размеров применяют привод с одно-, реже многоскоростным асинхронным электродвигателем переменного тока в сочетании со ступенчатой механической коробкой скоростей. Число ступеней скорости составляет обычно 18...24. При неразделенном приводе механизмы коробки скоростей полностью располагаются в шпиндельной (передней) бабке; при разделенном приводе коробка скоростей, расположенная в нижней части тумбы или станины, соединяется ременной передачей со шпиндельной бабкой, в которой обычно располагается одинарный или двойной перебор (см. т. 1, п. 5.3).

Для возможности установки на шпинделе стандартных различных зажимных и других устройств передние концы шпинделей нормализованы, размеры отверстия в шпинделе определяются диаметром обрабатываемого прутка. В качестве опор шпинделя используют преимущественно различные типы шариковых и роликовых подшипников с регулированием натяга. Тип подшипников и класс их точности зависят от назначения и размера станка. В тяжелых и высокоточных станках нашли применение гидростатические подшипники. В большинстве современных станков шпиндели подвергаются тщательной динамической балансировке.

Приводы подачи. Типовая блок-схема привода подачи универсального токарно-винторезного станка средних размеров представлена на рис. 1.4, *а*. Для нарезания резьбы резцом требуется жесткая кинематическая связь между ходовым винтом *13* и шпинделем *8*, поэтому применяется зависимый от шпинделя привод подачи (см. т. 1, п. 5.4), и подача измеряется в миллиметрах на оборот шпинделя. Для других работ в качестве тягового устройства для продольной подачи обычно применяется зубчато-реечная передача с неподвижной рейкой *10* и зубчатым реечным колесом *11*, связанным с фартуком *2* при приводе от ходового валика *1* (связь не показана). Поперечная подача осуществляется при вращении винта *12*. Привод подачи, как правило, содержит: звено увеличения шага *9*, в качестве которого используются последние переборные группы коробки скоростей *7*; зубчатый реверсивный механизм *6* для нарезания правых и левых резьб, который располагается в шпиндельной бабке; сменные зубчатые колеса гитары *5*, используемые для нарезки разных типов резьб, включая нестандартные; коробку подач *4*. В коробках подач (см. т. 1, п. 5.4) часто применяются в качестве основной группы механизмы Нортона и в качестве множительных — механизмы Меандра. В последнее время широко применяются коробки подач с передвижными зубчатыми блоками, передаточные отношения колес которых ориентированы

на стандартные значения шагов нарезаемых резьб. В фартуке *2* (рис. 1.4, *б*), который перемещается совместно с продольным суппортом *14*, располагаются передачи, связывающие скользящее вдоль ходового валика *1* зубчатое колесо *3* с реечным колесом *11* или винтом поперечной подачи *12*. Среди этих передач обычно имеется червячная, обеспечивающая необходимую редукцию в приводе. Для включения и выключения привода от ходового винта используется расцепляемая маточная гайка, состоящая из двух полугаек *21* и *22*. Полугайки перемещаются по вертикальным направляющим корпуса фартука с помощью соответствующей рукоятки и рычажной системы.

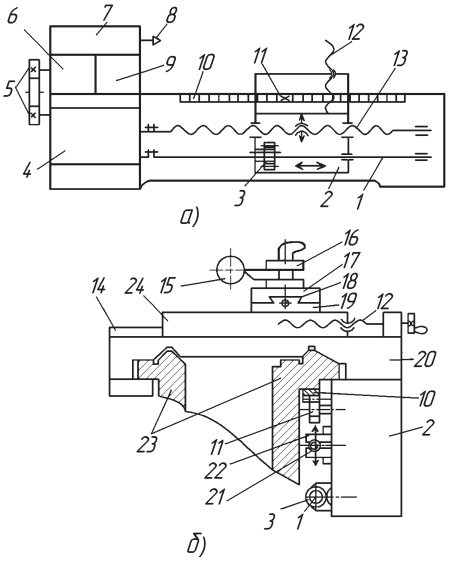


Рис. 1.4. Общая блок-схема привода подач (*а*) и фартук станка (*б*)

Включение, выключение и реверс продольных и поперечных подач от ходового валика осуществляются в фартуке с помощью передвижных цилиндрических зубчатых колес, мелкозубчатых муфт или электромагнитных фрикционных муфт в тяжелых станках. В ряде станков при нарезании резьб предусматривается выключение реечного колеса перемещением его в осевом направлении.

В малых токарных станках, не имеющих механической подачи, фартуки отсутствуют; в тяжелых станках в фартуках во многих случаях размещаются и коробки подач. В некоторых станках продольная подача суппорта осуществляется только от ходового винта. При этом привод подачи, как правило, содержит две цепи: одну — жесткую с зубчатыми колесами для нарезания резьбы и другую — с ременной передачей для остальных работ. Ходовые винты для привода продольного перемещения суппорта используются в станках с наибольшим диаметром обработки менее 1600 мм, так как в более крупных станках при больших осевых усилиях и длинах обработки они не обеспечивают требуемой осевой жесткости.

Характерные формы станин токарных станков приведены на рис. 1.5. Станина с П-образными поперечными ребрами (рис. 1.5, *а*) проста по конструкции, но обладает сравнительно низкой жесткостью; большей жесткостью обладает станина с диагональными ребрами (рис. 1.5, *б*), форма поперечного сечения таких станин показана на рис. 1.5, *в*. Для повышения жесткости станин применяются наклонные продольные ребра с окнами в передней стенке (рис. 1.5, *г*). Ширина станины колеблется обычно от 0,8*D* до 1*D,* высота ее определяется общей высотой от пола до оси центров станка, выбираемой исходя из удобства обслуживания (для станков с *D* до 500 мм высота оси центров от пола составляет 1050 мм). Большинство современных токарных станков имеют направляющие скольжения с призматической передней *2* (рис. 1.5, *д*) и плоской задней *4* граня-

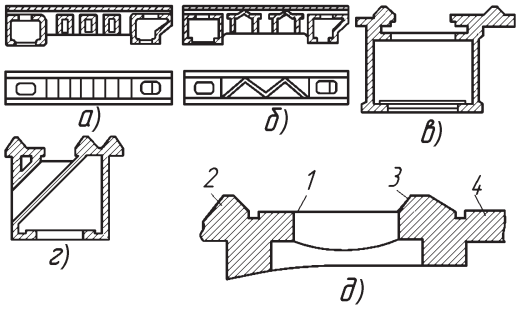


Рис. 1.5. Формы станин:
а — с П-образными ребрами; *б* — с диагональными ребрами; *в* — форма поперечного сечения; *г* — станина с наклонными продольными ребрами; *д* — форма направляющих

ми, что способствует сохранению положения каретки в радиальном направлении независимо от износа направляющих при равномерном распределении давлений на отдельных гранях. Задняя бабка устанавливается на своих направляющих: передняя направляющая *1* чаще всего делается плоской, задняя *3* — призматической. Раздельное выполнение направляющих для суппорта и задней бабки исключает влияние износа первых на положение центра задней бабки.

Суппорты. В станках среднего размера суппорт служит для установки режущего инструмента и сообщения ему движений подачи (см. рис. 1.4, поз. *6*). Суппорт жестко связан с фартуком *2* и состоит: из каретки (нижних салазок) *20*, которая перемещается вдоль оси заготовки *15* по направляющим станины *23*; поперечных салазок *24*, перемещающихся перпендикулярно оси центров по направляющим *14* каретки; поворотной части *19* с направляющими *18*, по которым движется резцовая (верхняя) каретка *17* с резцедержателем *16*. Каретку и поперечные салазки можно перемещать как механически, так и вручную. Поворотная часть суппорта устанавливается и закрепляется вручную под углом к линии центров станка, что используется, например, при обработке конусов. Резцовая каретка перемещается вручную (иногда и механически) от ходового винта.

Задняя бабка предназначается для поддержки заготовок при обработке их в центрах, для центрирования борштанг при растачивании заготовок, закрепленных на суппорте, для установки и подачи осевого инструмента. Задние бабки имеют различные по конструкции устройства (см. ниже рис. 1.17): для закрепления их в требуемом месте станины после перестановки; для перемещения в осевом направлении пиноли, в коническое отверстие которой вставляется задний центр; для зажима пиноли. Перемещение задних бабок малых и средних станков и их пинолей обычно осуществляется вручную. Для облегчения перемещения задних бабок, особенно в тяжелых станках, иногда применяются подпружиненные подшипники или системы пневморазгрузки, уменьшающие нагрузку на направляющие.

Приспособления, применяемые на токарно-винторезных станках. Наибольшее распространение для закрепления заготовок получили различные типы самоцентрирующих патронов (для симметричных заготовок) с ручным зажимом или механизированных, а также четырехкулачковые несамоцентрирующие патроны (для несимметричных заготовок) с независимым перемещением кулачков (см. т. 1, гл. 6). Точность установки заготовок (биение) в самоцентрирующих патронах составляет 0,05...0,1 мм, при использовании четырехкулачкового патрона выверкой заготовки обеспечивается точность ее установки до 0,05 мм. Для закрепления пруткового материала применяются цанговые

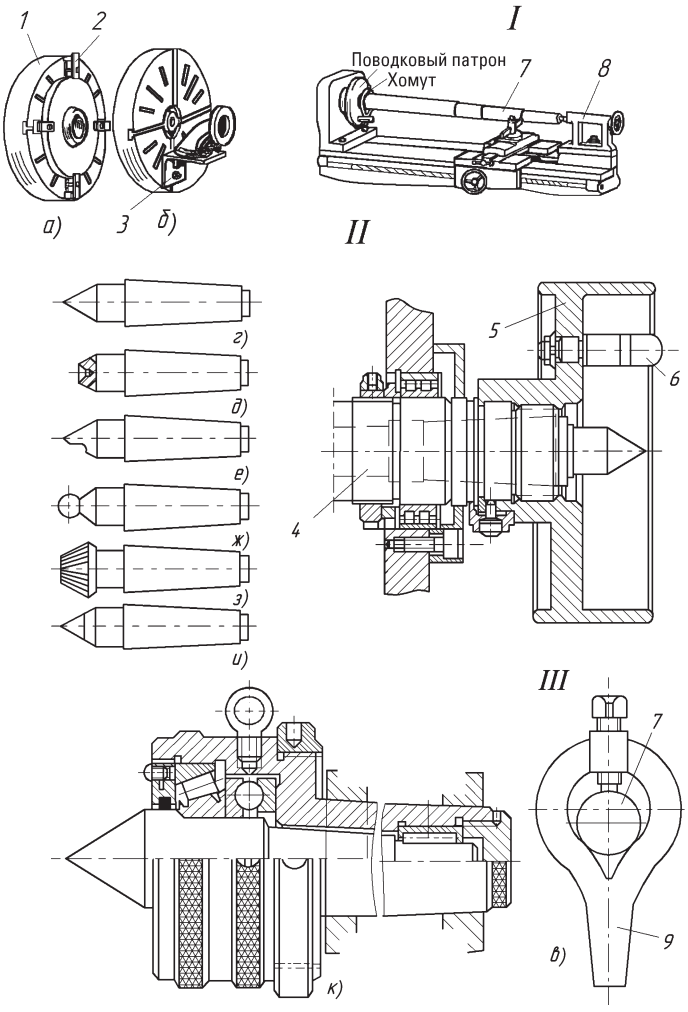


Рис. 1.6. Приспособления для токарных станков:
а, б — планшайбы; *в* — при установке детали в центрах; *г—и* — жесткие центры; *к* — вращающийся центр

зажимные патроны. Крупные или сложные по конфигурации изделия, которые не могут быть зажаты в кулачках, крепятся (рис. 1.6, *а*, *б*) на планшайбе *1* с помощью прихватов *2*, угольников *3* или специальных приспособлений. При работе в центрах (рис. 1.6, *в*, схемы *I—II—III*) на конец шпинделя *4* устанавливается (часто навинчивается) поводковый патрон *5* с пальцем-поводком *6*, с помощью которого вращение передается на заготовку *7* через хомутик *9*. Противоположный конец заготовки опирается на центр, устанавливаемый в коническое отверстие пиноли задней бабки *8*. Мелкие и средние детали устанавливаются в обычных упорных центрах (рис. 1.6, *г*) с углом конуса при вершине 60°. В случае необходимости подрезки торца детали со стороны задней бабки используется полуцентр (рис. 1.6, *е*).

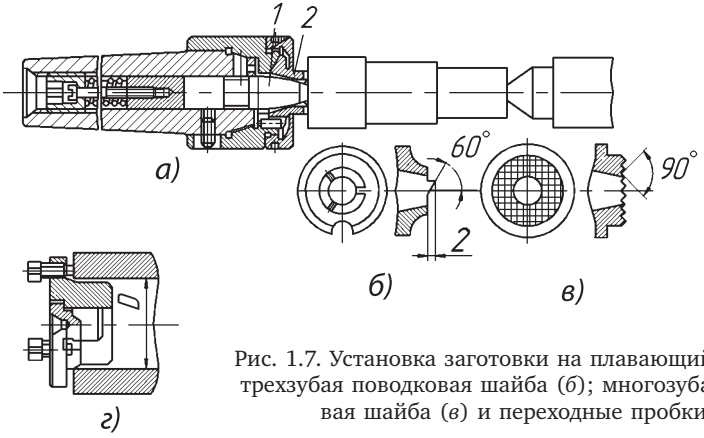


Рис. 1.7. Установка заготовки на плавающий центр (*а*); трехзубая поводковая шайба (*б*); многозубая поводковая шайба (*в*) и переходные пробки (*г*)

Заготовки с отверстием устанавливают в центрах увеличенного диаметра со срезанной вершиной конуса, причем передний центр часто выполняется рифленым (рис. 1.6, *з*), что позволяет проводить обработку без поводка. Заготовки малого диаметра устанавливают на обратные центры (рис. 1.6, *д*), используя при этом конусные фаски на наружной поверхности заготовки. При необходимости установки заготовки с некоторым перекосом (например, при обработке конусов смещением задней бабки) применяют центр со сферическим наконечником (рис. 1.6, *ж*). Для увеличения износостойкости рабочей поверхности заднего центра его иногда выполняют из твердого сплава (рис. 1.6, *и*).

При обработке с высокими скоростями резания задние центры выполняют вращающимися (рис. 1.6, *к*). Точность обработки на таких центрах ниже, чем на цельных (радиальное биение обычно до 0,01 мм). Для обеспечения высокой точности размеров вдоль оси необходимо базирование заготовки по торцу. Для этого применяется их установка (рис. 1.7, *а*) на плавающий передний центр *1*. При этом для возможности обработки вблизи переднего торца применяется специальная поводковая шайба *2* (эту схему применяют при заготовках диаметром до 80 мм и длиной до 400 мм). При черновой обработке шайбу выполняют трехзубой (рис. 1.7, *б*), при чистовой — многозубой (рис. 1.7, *в*). Заготовки с большим центральным отверстием устанавливают в центрах с помощью пробок (цельных или разжимных) (рис. 1.7, *г*). При обработке заготовок большого диаметра и длины и отсутствии центрового отверстия со стороны передней бабки применяют установку в патроне и на заднем центре.

При высоких требованиях к взаимному расположению базовых и обрабатываемых поверхностей заготовки, имеющие отверстие, устанавливают на концевых или центровых оправках. В простейшем случае (рис. 1.8, *а*) средняя рабочая часть *4* оправки выполняется с очень малой конусностью, обычно 1:1000...1:2000. Обрабатываемая заготовка *1* удерживается только за счет сил трения, поэтому она плотно надевается на конус. Лыска *3* служит для закрепления хомутика, а отверстия *2* и *5* — для установки оправки в центрах. В таких оправках положение заготовки по оси зависит от размера отверстия в заготовке. При использовании цилиндрической оправки (рис. 1.8, *б*) заготовка *1* надевается на ее цилиндриче-

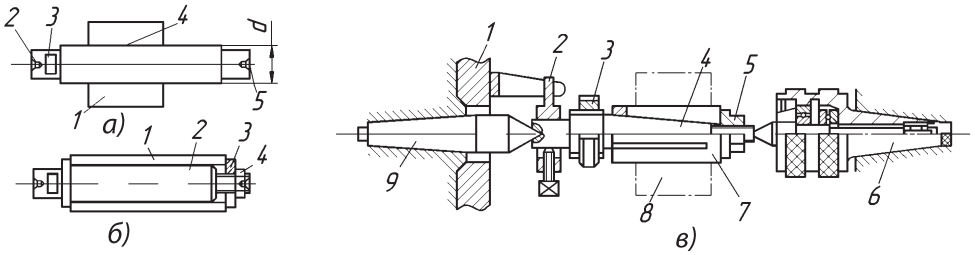


Рис. 1.8. Оправки для закрепления заготовок:
а — обычная; *б* — оправка с буртом; *в* — разжимная оправка

скую часть *2* до упора в бурт и зажимается гайкой *4* через быстросъемную шайбу *3*. Недостаток таких оправок заключается в наличии зазора в сопряжении оправки с заготовкой, что уменьшает точность обработки.

Для обработки заготовок с более широким разбросом размеров отверстий применяются разжимные оправки. На рис. 1.8, *в* показана схема обработки в центрах *9* и *6* заготовки *8*, установленной на разжимную втулку (цангу) *7* с коническим внутренним отверстием и цилиндрической наружной поверхностью. При завинчивании гайкой *5* цанга, перемещаясь влево, расширяется за счет конической поверхности *4* и обеспечивает надежное закрепление заготовки. Для снятия цанги с конуса оправки служит гайка *3*. Вращение на оправку передается от поводкового патрона *1* через хомутик *2*. При обработке длинных нежестких валов для предотвращения их прогиба от действия сил резания применяют подвижные и неподвижные люнеты.

Резцы на токарных станках закрепляются в резцедержателях, которые устанавливаются в пазах резцовой каретки. Современные токарные станки имеют обычно четырехпозиционную (четырехрезцовую) головку, позволяющую последовательно вводить в работу заранее закрепленные в ней резцы. Для обеспечения быстрой замены инструмента и настройки его на размер вне станка применяют специальные быстросменные резцедержатели (рис. 1.9). На резцовой каретке *7* суппорта с помощью болта *4*, гайки и штифта закрепляется широкая шестерня *3*, зубья которой сопрягаются с внутренними зубьями сменного резцедержателя *1*. Эксцентриковой рукояткой *5* резцедержатель надежно закрепляется с шестерней с помощью хомута *6*, имеющего Т-образные выступы, которые входят в соответствующие пазы резцедержателя. Для установки резца по высоте служит винт *2*. Сверла, зенкеры, развертки устанавливают в пиноли задней бабки, как в шпинделе сверлильного станка.

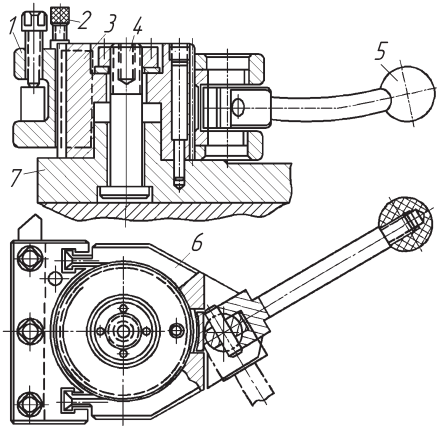


Рис. 1.9. Быстросменный резцедержатель

Для расширения технологических возможностей токарно-винторезных станков применяются и различные копировальные устройства. Простейшим из них явля-

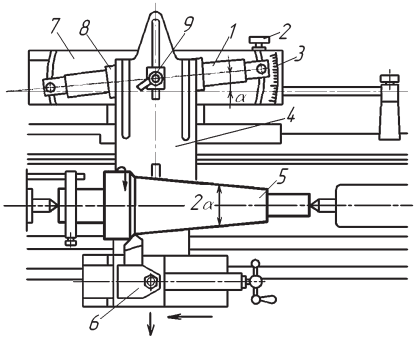


Рис. 1.10. Устройство для обтачивания конусов

ется устройство для обтачивания конусов с помощью косинусной линейки *4* (рис. 1.10). Линейка *1* разворачивается по шкале *3* с помощью винта *2* на требуемый угол наклона конуса α относительно основания *7*, закрепленного на кронштейнах, привернутых сзади к станине. По наклонной линейке *1* скользит ползушка *8*, связанная винтом *9* с поперечными салазками, которые отсоединяются от винта поперечной подачи. Таким образом, при включении продольной механической подачи резец *6* получает дополнительно поперечное перемещение, что обеспечивает обработку конуса на заготовке *5*. При замене линейки *1* специальным шаблоном (копиром), а ползушки *8* — роликом можно проводить и другие виды копировальной обработки. Недостатком механического копирования является быстрый износ шаблона, так как он воспринимает нагрузку от резания. Поэтому современные токарно-винторезные станки часто оснащаются специальными гидро- или электрокопировальными устройствами.

1.1.4. Токарно-винторезный станок мод. 16К20

Станок предназначен для выполнения различных токарных и резьбонарезных работ в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также для ремонтных работ (табл. 1.1).

Основные узлы станка. Общий вид станка с органами управления представлен на рис. 1.11. Коробка скоростей *1* с рукоятками *4* и *31* для переключения частот вращения шпинделя устанавливается на станине *28*. По направляющим *25* станины перемещается продольный суппорт *14* с фартуком *22* и устанавливается задняя бабка *11*. Салазки *8* движутся в поперечном направлении по направляющим суппорта. Кнопочная станция *19* служит для включения и выключения главного электродвигателя, установленного в нише передней тумбы станины.

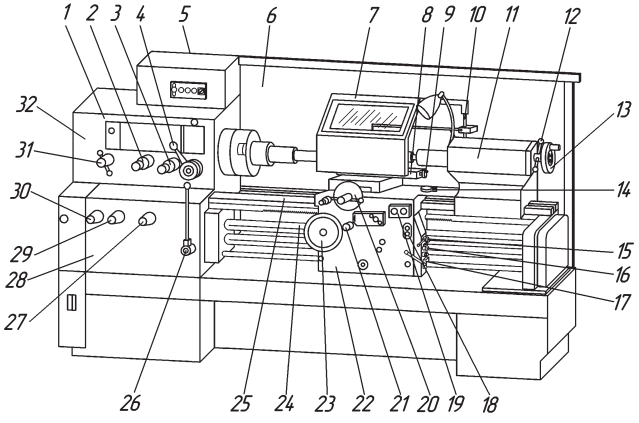


Рис. 1.11. Общий вид станка мод. 16К20

1.1. Технические характеристики станка мод. 16К20

Диаметр обрабатываемой заготовки, мм, не более: над станиной над поперечным суппортом	 400 220
Расстояние между центрами (РМЦ), мм	700; 1000; 1400; 2000
Число частот вращения шпинделя	22
Частота вращения, мин$^{-1}$	12,5…1600
Подача, мм/об: продольная поперечная	 0,055…2,8 0,025…1,4
Шаг нарезаемой резьбы: метрической, мм дюймовой, число ниток на 1” модульной, мм питчевой, питч	 0,5…112 56…0,5 0,5…112 56…0,5
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	7,5;10
Габариты станка, мм: длина высота ширина	 2470; 2760; 3160; 3760 1470 1195
Масса станка (РМЦ 2000 мм), кг	3000

Сблокированные рукоятки *26* и *17* предназначены для управления фрикционной муфтой включения главного привода станка.

Для управления приводом подачи служат рукоятки: *2* — для установки нормального или увеличенного шага резьбы; *3* — для изменения направления нарезаемой резьбы; *30*, *29*, *27* — для установки величины подачи или шага резьбы. Рукояткой *21* включают и выключают реечную шестерню продольной подачи, а рукояткой *18* — подачу суппорта; включение ускоренной подачи в любом направлении осуществляется рукояткой *15*. Для включения и выключения гайки ходового винта *24* служит рукоятка *16*. Маховичками *23* и *20* производится ручное перемещение суппорта соответственно в продольном и поперечном направлении; с помощью маховичка *9* перемещают верхние салазки суппорта.

Перемещение пиноли задней бабки осуществляется маховичком *13*, ее зажим — рукояткой *12*, а закрепление бабки на направляющих станины — рукояткой *10*. Электрооборудование станка размещается в электрошкафу *5*. Для обеспечения безопасности работы на станке установлены экран *6*, щиток *7* и кожух *32*, закрывающий ременную передачу, связывающую коробку скоростей с электродвигателем.

Кинематическая схема станка мод. 16К20 (рис. 1.12). *Привод вращения шпинделя* (главное движение). От электродвигателя *М1* через клиноременную передачу 140/268 и коробку скоростей с передвижными скользящими блоками шпиндель получает 22 различные «прямые» частоты вращения при включении фрикционной муфты (главного фрикциона M_1) влево. При включении муфты M_1 вправо через промежуточные (паразитные) передачи 50/24 и 36/38 изменяется

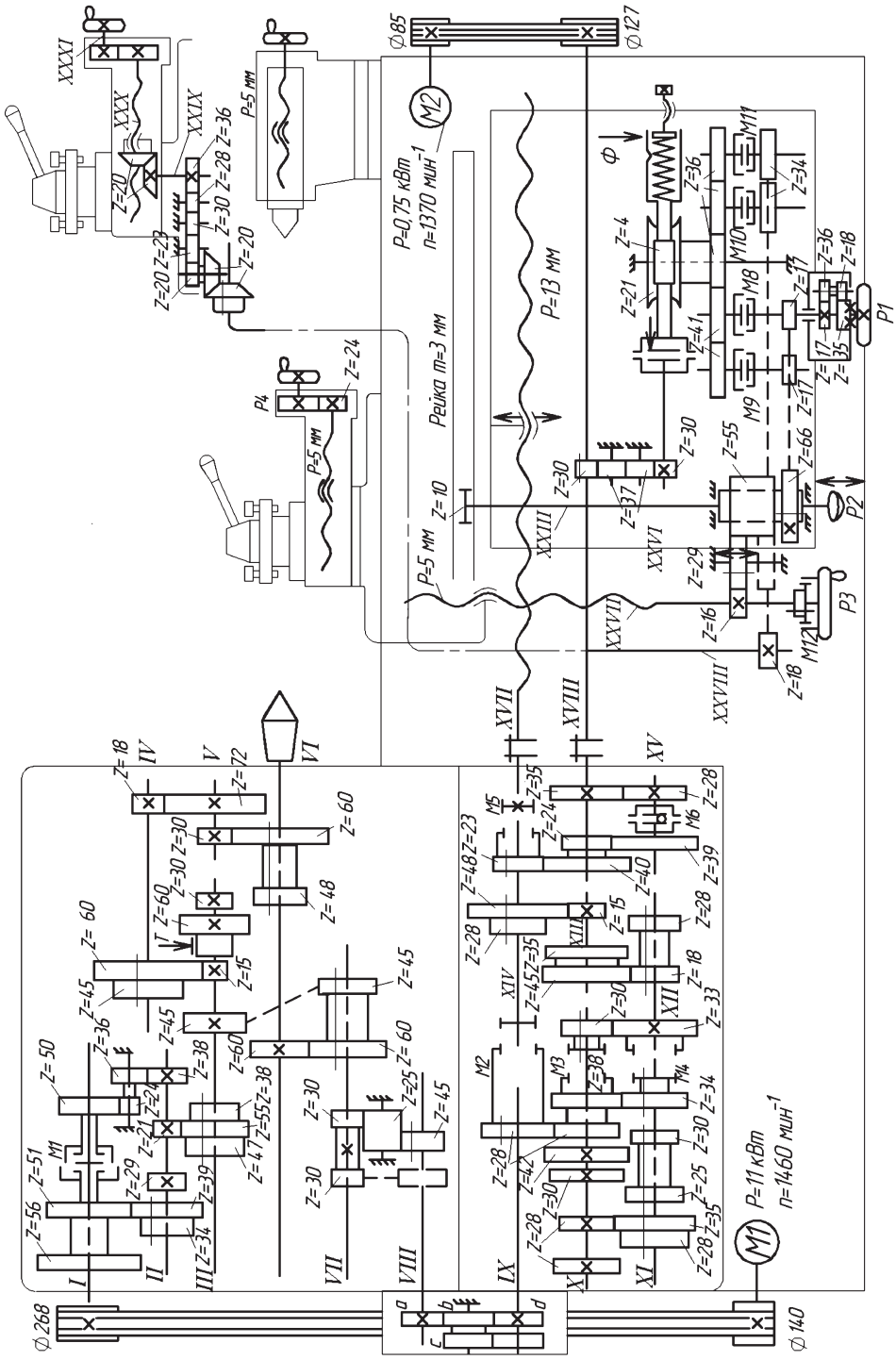
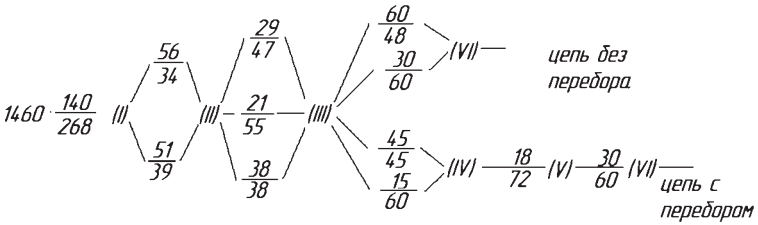


Рис. 1.12. Кинематическая схема станка мод. 16К20

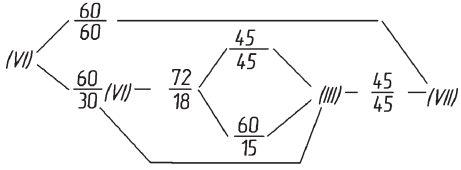
направление вращения, и шпиндель получает 12 «обратных» частот вращения в пределах 19... 1900 мин$^{-1}$.

Кинематическая цепь привода главного движения представляется следующим образом:

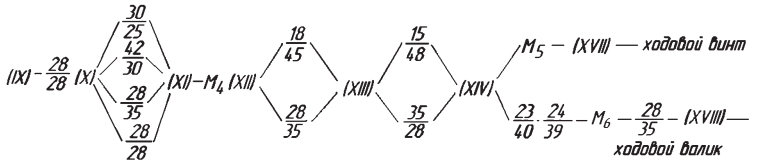


В этой формуле в скобках записаны номера валов привода и в промежутках — возможные передаточные отношения между ними при соответствующих позициях зубчатых блоков. Частоты вращения шпинделя 500 и 630 мин$^{-1}$ повторяются дважды (перекрытие), что и определяет наличие 22, а не 24 скоростей. Торможение коробки осуществляется с помощью ленточного тормоза *T*, расположенного на ступице колеса с $Z = 60$ на валу *III*.

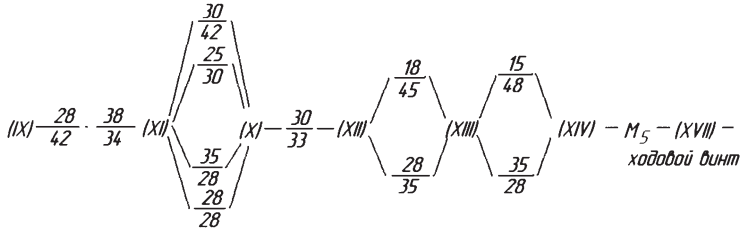
Привод подачи служит для получения продольной и поперечной подач суппорта от ходового валика *XVIII*, для нарезания резьб при вращении ходового винта *XVII*. Движение механизму подачи передается либо от шпинделя *VI*, как показано на схеме, либо, для увеличения подачи (или шага нарезаемой резьбы) в 2,8 и 3,2 раза, через звено увеличения шага:



Далее с вала *VII* вращение через реверсивный механизм (правое вращение — передача 30/45, левое — передачи $30/25 \cdot 24/45$) передается на вал *VIII* и через гитару сменных колес $a/b \cdot c/d$ на вал *IX* коробки подач с передвижными зубчатыми блоками. При нарезании метрических и дюймовых резьб, а также для получения механических подач от ходового валика устанавливается гитара $a/b \cdot c/d = 40/86 \cdot 86/64$; при нарезании модульных и питчевых резьб $a/b \cdot c/d = 60/73 \cdot 86/36$. С вала *IX* коробки подач движение может передаваться по двум кинематическим цепям. При включении зубчатых муфт M_3, M_4 и M_5 и выключенной муфте M_2 нарезается метрическая или модульная резьба либо вращается ходовой валик при включении муфты M_6:

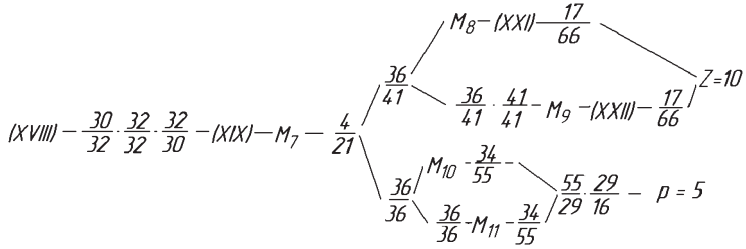


При отключении муфт M_2, M_3 и M_4 и включенной муфте M_5 нарезается дюймовая или питчевая резьба.



Резьбы повышенной точности, а также резьбы с нестандартными шагами нарезают при непосредственном соединении ходового винта со шпинделем через механизм реверса и гитару сменных колес (они подбираются расчетом) при включенных муфтах M_2 и M_5.

При токарной обработке механизмы фартука получают вращение от ходового валика *XVIII* через скользящее вдоль него зубчатое колесо $Z = 30$. Муфты M_8 и M_9 служат для получения продольной подачи в прямом и обратном направлениях с помощью реечного колеса $Z = 10$ на валу *XXIII* и рейки $m = 3$ мм, жестко закрепленной на станине. Муфты M_{10} и M_{11} служат для получения поперечной подачи в прямом и обратном направлениях от винта *XXIII* с шагом $P = 5$ мм:



Муфты M_8, M_9, M_{10} и M_{11} на станке включаются одной рукояткой (позиция *21* на рис. 1.11), причем направление включения совпадает с направлением перемещения резца. По особому заказу станок оснащается суппортом с механическим приводом резцовых салазок. В этом случае колесо $Z = 29$ на валу *XXVI* сцепляется с колесом $Z = 18$ на валу *XXVIII*, обеспечивая через соответствующую кинематическую цепь вращение винта *XXX*. Продольное ручное перемещение суппорта производится маховичком *P1*, а поперечное — маховичком *P3*, когда рукоятка включения механической подачи установлена в среднее (нейтральное) положение. Рукоятка *P2* служит для осевого смещения реечного колеса $Z = 10$ при включении и выключении продольной подачи от ходового валика. Для предохранения цепи подач от перегрузок, а также для работы на жесткий упор, на оси червяка $Z = 4$ установлена предохранительная зубчатая муфта M_7 (вал *XIX*), пружина которой отрегулирована на передачу определенного крутящего момента. Быстрые перемещения суппорта осуществляются от электродвигателя *M2*, при этом сопряжение цепей ускоренных перемещений и рабочей подачи обеспечивается с помощью муфты обгона M_6.

Конструкция основных узлов станка. *Коробка скоростей* (рис. 1.13) непосредственно встроена в шпиндельную бабку, корпус *22* которой жестко крепится на платике станины *23*. Скорости между валами (нумерация валов соответствует кинематической схеме) переключаются перемещением соответствующих зубчатых блоков с помощью двух рукояток *13* и *15* и рычажно-кулачковой системы. На валу *I* размещена двухсторонняя фрикционная муфта M_1, обеспечивающая прямое (зацепляются колеса *1* или *2*) и обратное вращения (зацепляются колеса *12*, *3* и *4*, *11*) шпинделя. При прямом вращении передается значительный крутящий момент, и поэтому требуется большее число дисков. Управляется муфта от рукояток (*26* и *17* на рис. 1.11) через рычажную систему с помощью зубчатого сектора *6* и рейки *5*. В нейтральном положении муфты (как показано на рис. 1.13) выступ рейки *5* воздействует на ролик *10*, который обеспечивает перемещение рычажной системы *24* для срабатывания ленточного тормоза, воздействующего на ступицу колеса *9*.

В шпиндельной бабке находятся также блок *21* звена увеличения шага механизма подачи, переключаемого рукояткой *15*, и механизм реверса со скользящим колесом *17*, переключаемым рукояткой *16*. Там же расположена рукоятка *14* для реверсирования подачи при нарезании левых и правых резьб. В качестве передней опоры шпинделя использован радиальный двухрядный роликоподшипник *7* с короткими цилиндрическими роликами. Он установлен на конической шейке шпинделя с конусностью 1:12, за счет чего в нем создается натяг с помощью гайки *8*. В задней опоре предусмотрены два радиально-упорных шариковых подшипника *18* и *19*, обеспечивающих восприятие осевой и радиальной нагрузок. Натяг в них создается за счет смещения внутренних колец относительно наружных с помощью гайки *20*.

Коробка подач (рис. 1.14) с соответствующими (см. кинематическую схему) зубчатыми блоками и зубчатыми муфтами внутреннего зацепления передает вращение со сменной шестерни *1 (d)* гитары на ходовой винт *XVII* или ходовой валик *XVIII*. Она состоит из основной коробки с валами *IX, X, XI*, двумя двойными блоками *2* и *3* и муфтами M_2, M_3, M_4, обеспечивающей основной ряд подач и обратимость движения, и множительного механизма с валами *XII, XIII, XIV*, обеспечивающего четыре различных передаточных отношения 1; 1/2; 1/4; 1/8. Коробка подач содержит также муфту M_5, передающую вращение на ходовой винт, и муфту обгона M_6.

Фартук станка (развертка по зубчатым передачам приведена на рис. 1.15) обеспечивает продольную подачу и ее реверсирование с помощью зубчатых муфт M_8 или M_9. При этом вращение через зубчатые колеса *1* и *2* передается реечному колесу *4*. Для включения и выключения продольной подачи предусмотрено осевое перемещение колеса *4* с помощью рукоятки *9*. Ручное продольное перемещение суппорта осуществляется с помощью рукоятки *7* при нейтральном положении муфт. Отсчет продольного перемещения производится по лимбу *8*, получающему вращение через соответствующие зубчатые передачи. Поперечное перемещение и его реверсирование осуществляются при включении муфт M_{10} или M_{11}, тогда зубчатое колесо *5* (или *6*) передает вращение колесу *3* и далее вращение передается винту.

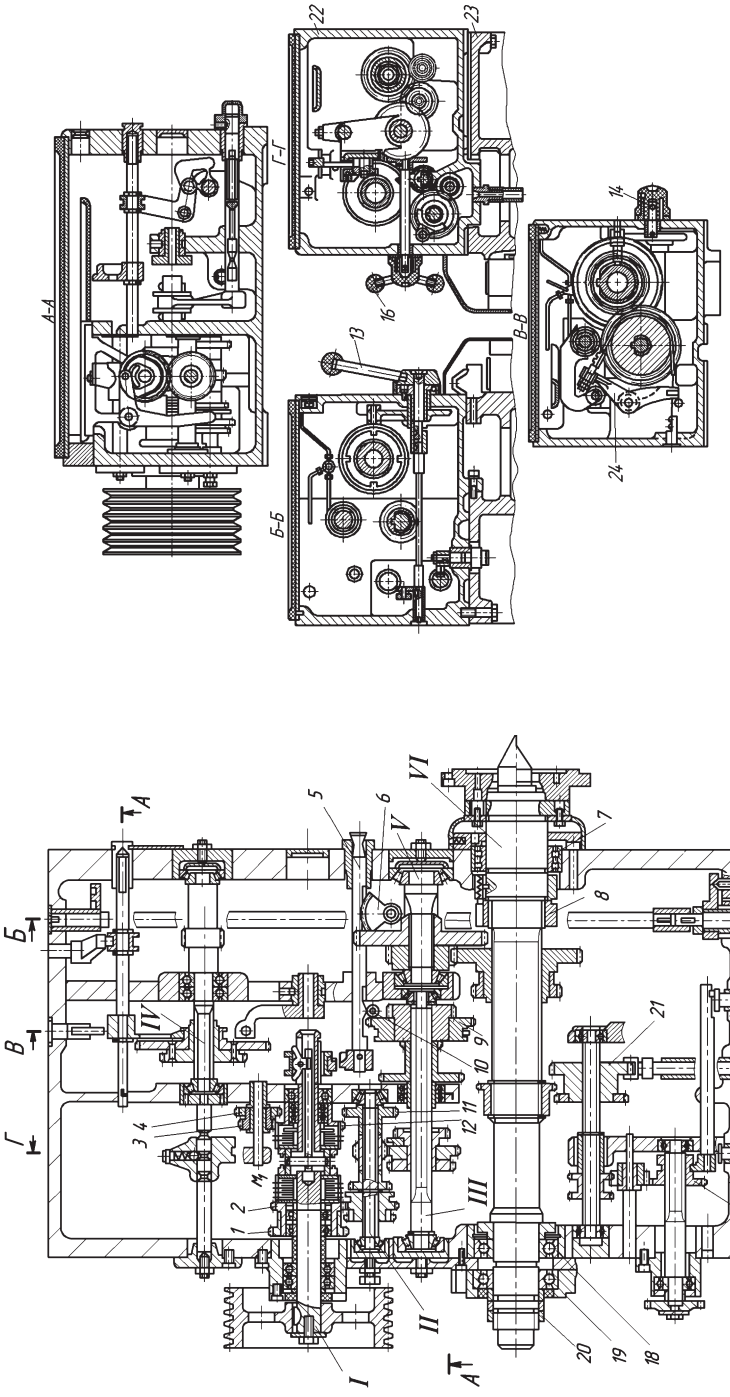


Рис. 1.13. Развертка и разрезы шпиндельной бабки станка мод. 16К20

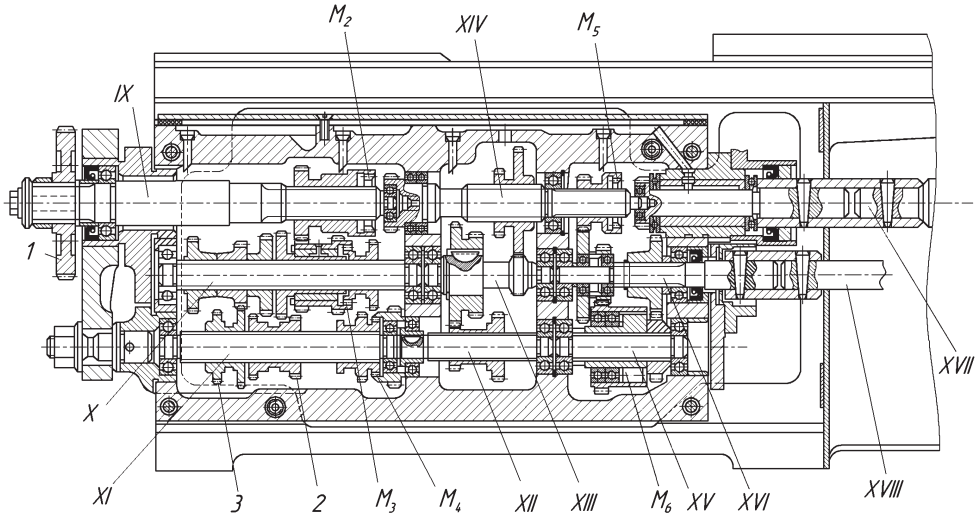


Рис. 1.14. Коробка подач станка мод. 16К20

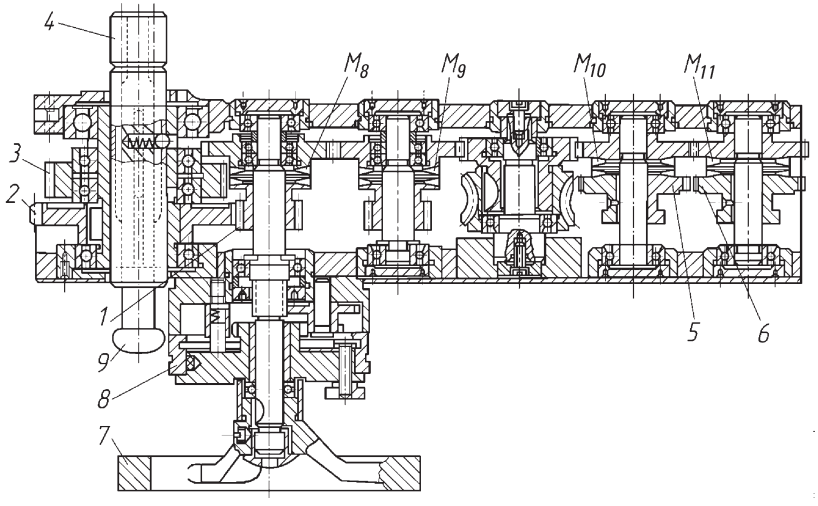


Рис. 1.15. Развертка по зубчатым передачам фартука

Суппорт (рис. 1.16) состоит из каретки *12*, перемещающейся в продольном направлении по треугольной *17* и плоской *11* направляющим станины, поперечных салазок *10*, поворотной части *9*, резцовых салазок, резцедержателя *6*. Регулирование зазора в направляющих каретки *12* осуществляется подшлифовкой соответствующих планок (одна из планок *13* видна на рисунке). Поперечные салазки *10* перемещаются по направляющим *26* типа «ласточкин хвост» с помощью винта *14*. Зазор в передаче винт—гайка выбирается с помощью пружины при осевом смещении полугайки *15* относительно неподвижной полугайки *16*. Зазор в направляющих *26* регулируется клином *27*. Ручное перемещение салазок *10* производится рукояткой *1*, при этом предусмотрено отключение ее

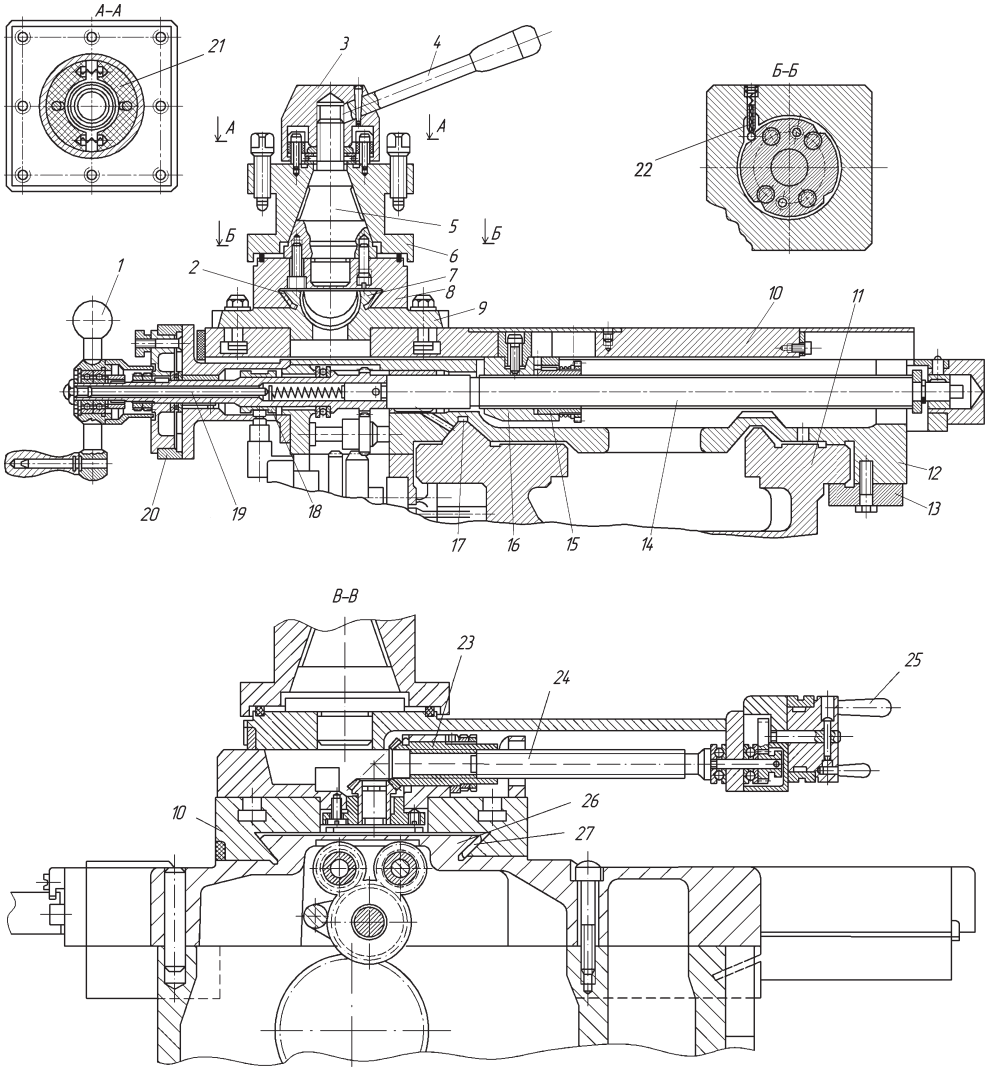


Рис. 1.16. Суппорт станка мод. 16К20

вращения при включении механической подачи. В этом случае от рычажной системы, расположенной в фартуке, смещается вправо муфта *18* со штифтом, расположенным в пазу штока *19*. Шток смещается вправо, сжимая пружину и отключая зубчатую полумуфту, выполненную на торце втулки *20*. При выключении механической подачи пружина обеспечивает сцепление зубчатой муфты рукоятки *1* и возможность ручного перемещения. Резцовые салазки *8* перемещаются по направляющим *7* типа «ласточкин хвост» либо механически через систему зубчатых передач (см. кинематическую схему), либо вручную от рукоятки *25* с помощью винта *24* и гайки *23*. Зазор в направляющих регулируется клином *2*. Резцедержатель *6* поворачивается относительно вертикальной оси основания *5*;

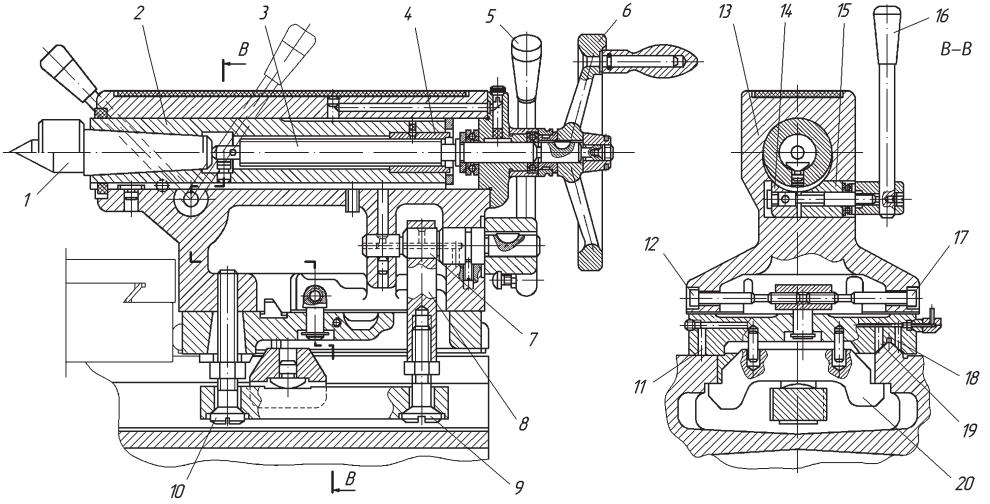


Рис. 1.17. Задняя бабка станка мод. 16К20

надежное его закрепление обеспечивается с помощью конусного сопряжения рукояткой *4*. Фиксация в основных четырех положениях осуществляется подпружиненным шариком, попадающим в соответствующие гнезда основания. При повороте рукоятки *4* вначале колпак *3* свинчивается по резьбе винта основания *5*, освобождая резцедержатель. Подпружиненные фрикционные колодки *21* передают на него вращение. При зажиме вначале поворачивается от рукоятки колпак вместе с резцедержателем, а после его фиксации колпак, преодолевая трение в колодках, навинчивается на винт, обеспечивая надежное силовое замыкание конического соединения.

Задняя бабка (рис. 1.17) закрепляется на направляющих станины планкой *20* при повороте рукоятки *5* с помощью эксцентрика *7* и тяги *8*. Усилие закрепления можно регулировать с помощью винтов *9* и *10*. Перемещение пиноли *2* с центром *1* производится при вращении маховичка *6* с помощью винта *3* и гайки *4*. Пиноль закрепляется в требуемом положении поворотом рукоятки *16* за счет взаимного смещения сухарей *14* и *15*. Корпус *13* бабки может смещаться в поперечном направлении с помощью винтов *12* и *17*, что используется при обработке конусов. Для облегчения перемещения бабки осуществляется подвод воздуха к направляющим через сверления *11*, *18*, *19*. Для получения механической подачи заднюю бабку специальным прихватом можно соединить с кареткой суппорта.

1.2. Токарные станки с ЧПУ и многоцелевые станки

1.2.1. Общие сведения

Токарные станки с ЧПУ предназначены для высокопроизводительной обработки в автоматическом режиме заготовок типа тел вращения в условиях мелкосерийного и серийного производства. Основные типовые элементарные поверхности, обрабатываемые на токарных станках с ЧПУ, и соответствующий режущий инструмент показаны на рис. 1.18.

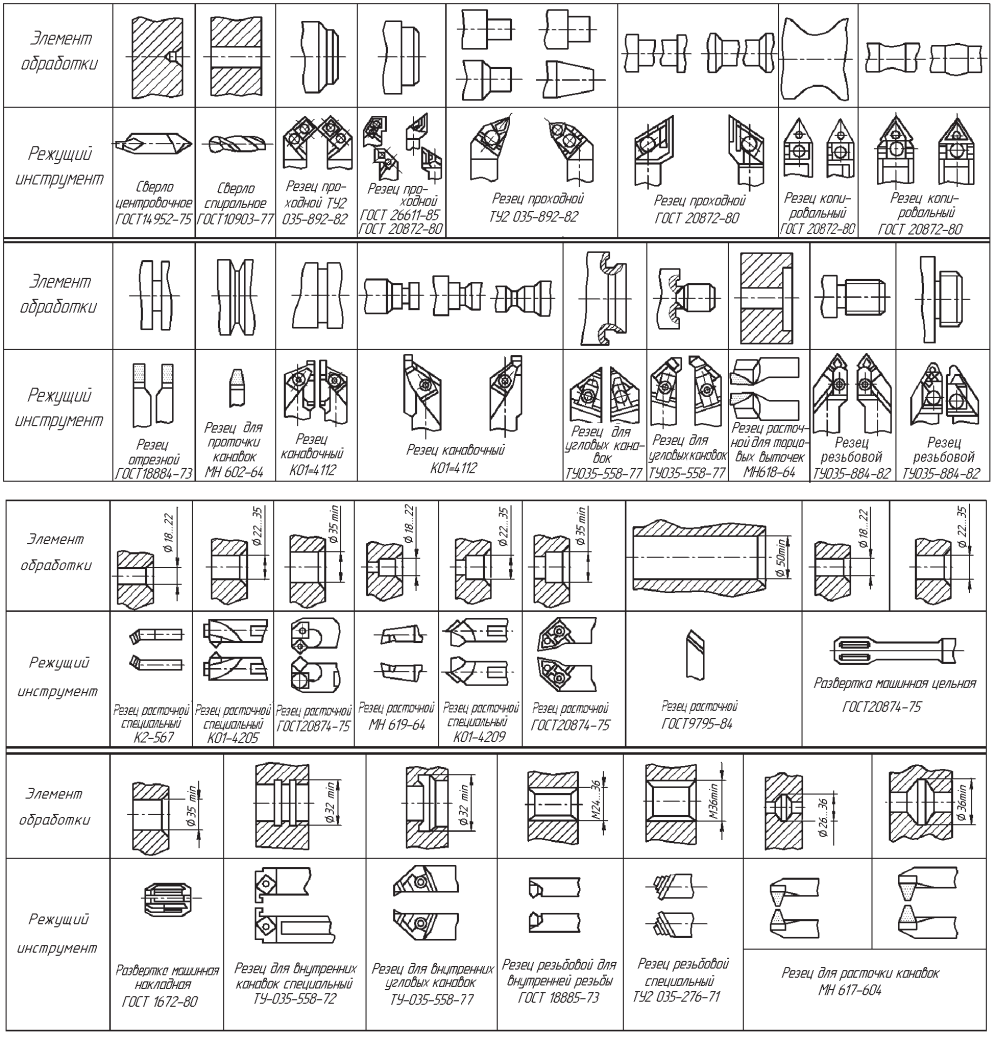


Рис. 1.18. Типовые элементарные поверхности и режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ

В станках с ЧПУ полностью автоматизированы цикл обработки детали с установлением необходимых режимов резания, а также все вспомогательные движения и функции: ускоренное перемещение рабочих органов, смена инструмента, устанавливаемого в револьверных головках или магазинах (см. т. 1, гл. 6), зажим заготовки, перемещение задней бабки и люнета, включение и выключение механизмов стружкодробления и стружкоудаления, включение системы охлаждения, введение коррекции на положение заранее настроенного на размер инструмента и т. д.

Токарные станки с ЧПУ классифицируются:

- по расположению оси шпинделя — на горизонтальные и вертикальные;

• по числу используемых инструментов, способу их закрепления и смены — с револьверными головками или с магазином сменных инструментов;

• по виду выполняемых работ — на прутковые, патронные, центровые, патронно-центровые;

• по типу применяемого УЧПУ.

Ограничением диаметра заготовки, обрабатываемой на станке, является не высота его центров, а условие исключения столкновений инструмента и заготовки, что определяется видом и размерами инструментов, расстоянием между ними при их установке в револьверной головке. В случае пруткового варианта диаметр заготовки ограничивается диаметром сквозного отверстия в шпинделе, поэтому основным размером токарного станка с ЧПУ следует считать (наряду с наибольшим диаметром устанавливаемой заготовки) наибольший диаметр обрабатываемого изделия. Обычно выпускаются станки с горизонтальной осью шпинделя с наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки 125...5000 мм, прутковые станки имеют диаметр обработки 10...125 мм. Станки средних размеров обычно изготавливают по классу точности П, малых — иногда В.

1.2.2. Компоновка токарных станков с ЧПУ

Современные станки средних размеров имеют, как правило, оригинальную компоновку, позволяющую повысить их жесткость, улучшить защиту направляющих и винтовых передач, обеспечить свободный отвод стружки и удаление ее из рабочей зоны, применять загрузочные устройства любых типов, обеспечить свободный доступ к инструменту и приспособлениям, повысить безопасность работы. В большинстве случаев станки с горизонтальной осью шпинделя имеют компоновки следующих типов: наклонную, вертикальную или угловую с задним по отношению к шпинделю расположением станины.

При *наклонной компоновке* (рис. 1.19) верхний *3* и нижний *7* суппорты перемещаются (координаты Z_1 и Z_2) по наклонным направляющим станины *8* (обычно с углом 60...75° к горизонтали). Револьверные головки *4* и *6* имеют поперечные перемещения X_1 и X_2 соответственно. На станине устанавливается шпиндельная бабка *2*; двигатель главного движения *1* обычно располагается на плите или кронштейне, установленном на торце станины. При патронно-центровом варианте станок оснащается задней бабкой *5*, имеющей для перемещения индивидуальный привод или перемещаемой с помощью продольного суппорта.

При *вертикальной компоновке* станины зеркало направляющих расположено под углом 90° к горизонту. В случае угловой компоновки (рис. 1.20) при наличии только одного крестового суппорта (рис. 1.20, *а*) на станине выполняются верхние горизонтальные направляющие *2*. Для получения поперечных подач револьверной головки *4* относительно шпинделя *1* продольная каретка снабжена направляющими *3*,

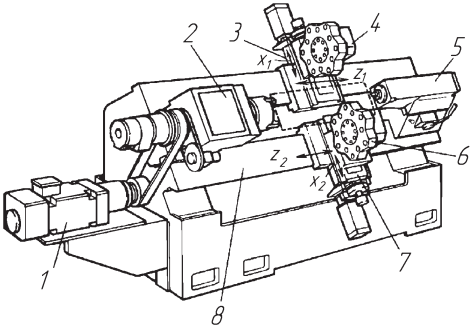


Рис. 1.19. Наклонная компоновка токарного станка с ЧПУ

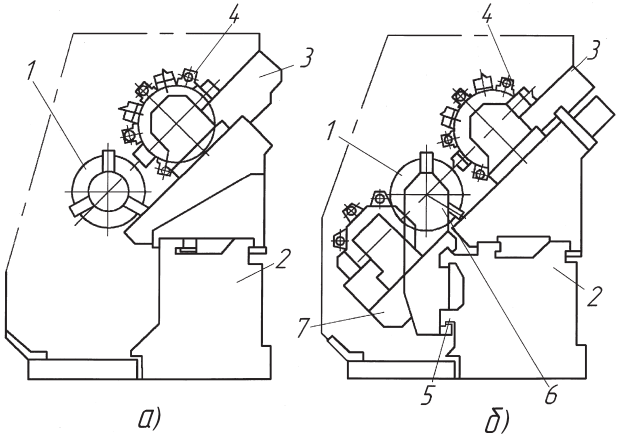


Рис. 1.20. Угловая компоновка токарных станков с ЧПУ:
а — с одним суппортом; *б* — с двумя суппортами

расположенными обычно под углом 30…45° к горизонтальной плоскости. При наличии второго крестового суппорта *7* (рис. 1.20, *б*) станина имеет нижние направляющие *5* для его продольного перемещения; на этих же направляющих устанавливается и задняя бабка *6* (при патронно-центровом исполнении).

Двухшпиндельные токарные станки с ЧПУ, позволяющие вести либо параллельную обработку двух заготовок, либо полностью обрабатывать детали с двух сторон, оснащаются двумя крестовыми суппортами с независимыми приводами и выполняются обычно по двум основным схемам. При параллельном расположении (рис. 1.21, *а*) шпинделей *2* и *3* (существуют компоновки и с вертикальной осью шпинделей) переустановка заготовок *1* осуществляется чаще всего специальным манипулятором *6*, установленным на шпиндельном блоке *4*. Суппорты с револьверными головками *5* и *7* получают перемещения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (Z_1, X_1 и Z_2, X_2 соответственно) по наклонным (горизонтальным) направляющим станины. При противоположном (оппозитном) расположении (рис. 1.21, *б*) неподвижных шпиндельных бабок *2* и *4* и координатном перемещении крестовых суппортов с револьверными головками *3* и *5* переустановка обрабатываемых заготовок *1* обычно осуществляется портальными манипуляторами или одной из револьверных головок. В последнее время появились станки, в которых перемещения по координатам Z_1 и Z_2 осуществляют шпиндельные бабки (рис. 1.21, *в*) *1* и *4*, а суппорты *2* и *3* имеют перемещения только по осям X_1 и X_2 соответственно. В этом случае переустановка заготовок *5* и *6* при двухсторонней обработке осуществляется перемещением одной из шпиндельных бабок.

Для полной обработки деталей малых диаметров (особенно из прутка) применяется схема (рис. 1.21, *г*) с дополнительным шпинделем *3*, установленным в одном из гнезд верхней револьверной головки *2*. Обработка заготовки *6* с противоположной стороны проводится инструментом задней, обычно неперемещающейся револьверной головкой *1*. Как правило, станок оснащается и нижним крестовым суппортом *4* для обработки заготовки в основном шпинделе *5*.

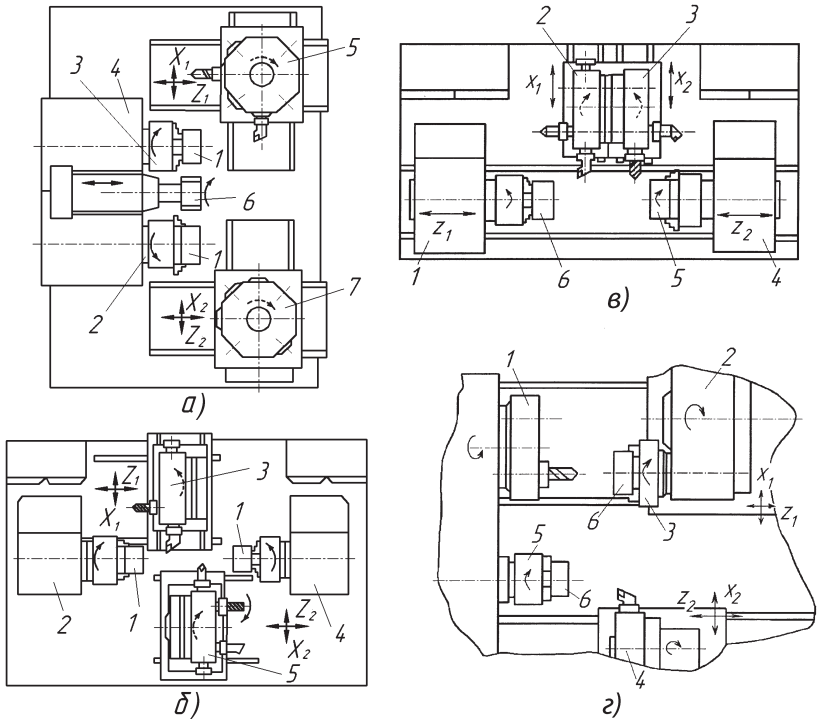


Рис. 1.21. Компоновочные схемы двухшпиндельных станков:
а — с параллельно расположенными шпинделями; *б* — с оппозитным расположением шпинделей; *в* — с перемещающимися шпиндельными бабками; *г* — с дополнительным шпинделем в револьверной головке

1.2.3. Конструктивные особенности

Приводы главного движения и шпиндельные узлы. В качестве приводного двигателя в станках с ЧПУ обычно применяются регулируемые двигатели постоянного и переменного тока. Последние проще по конструкции и обладают большей надежностью в виду отсутствия щеточных узлов (особенно в области высоких частот вращения, которые требуются для главного движения). Диапазон регулирования двигателя с постоянной мощностью $(R_д)_р$ ограничен значением 3...5 (в последних моделях двигателей 6...8), что требует, как правило, применения в приводе главного движения механических устройств (коробок скоростей), и диапазоном регулирования $R_к$ и числом ступеней скорости $Z_к = 2$, 3 или 4 (см. т. 1, п. 5.3).

При этом (особенно в широкоуниверсальных станках) иногда закладываются значительные перекрытия отдельных диапазонов регулирования ($R_к < (R_д)_р$) при переключении передач, что обеспечивает полную обработку детали определенного диаметра без переключения диапазонов в коробке в процессе обработки. Конструктивные схемы таких приводов приведены на рис. 1.22, *а* и *б*. Максимальное передаточное отношение коробки i_{max}, учитывая высокие частоты вращения двигателя, обычно равно 1, поэтому предельный диапазон регулирова-

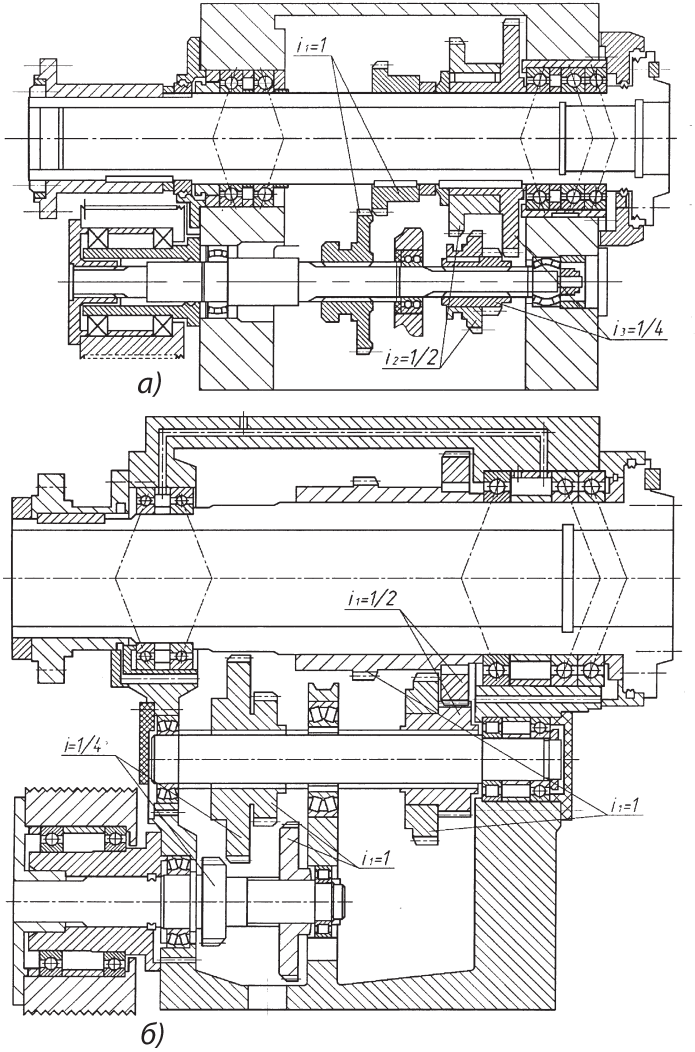


Рис. 1.22. Варианты приводов главного движения:
а — $Z_к = 3$; *б* — $Z_к = 4$

ния обычной двухваловой группы передач с прямозубыми колесами составляет $(R_{гр})_{пред} = i_{max}/i_{min} = 4$. Иногда для исключения влияния на положение шпинделя тепла, выделяемого в коробке скоростей, применяется термическое разделение корпусов коробки скоростей *3* и шпиндельной бабки, как это показано на рис. 1.23.

В соответствии с наметившейся тенденцией по созданию блочно-модульных конструкций в токарных станках в приводах главного движения широко применяются унифицированные коробки скоростей (редукторы), кинематические и силовые характеристики которых соответствуют применяемым регулируемым электродвигателям. Такие соосные с двигателями компактные двухступенча-

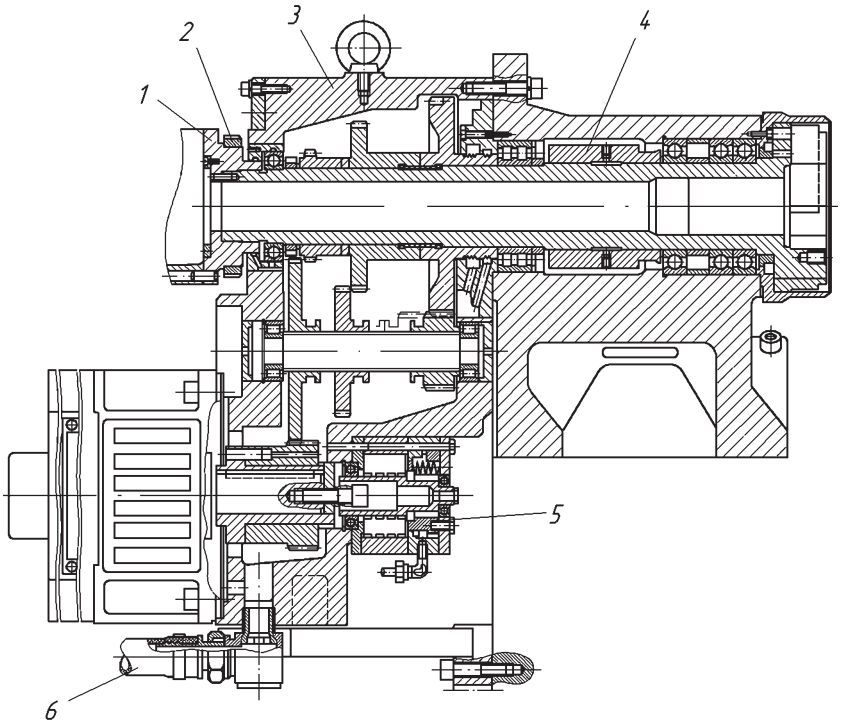


Рис. 1.23. Шпиндельная бабка токарного станка:
1 — механизм зажима заготовки; *2* — привод датчика через зубчатый ремень; *3* — корпус трехступенчатой коробки скоростей; *4* — запрессованная втулка; *5* — пружинная муфта для быстрой остановки шпинделя при внезапном отключении электроэнергии; *6* — трубопровод для отвода смазки

тые зубчатые, реже планетарные коробки *2* (рис. 1.24) прифланцовываются непосредственно к двигателю *3* и могут иметь выход либо в виде вала под шкив ременной передачи, либо в виде зубчатого перебора *1*, выходная косозубая шестерня *4* которого крепится непосредственно на шпинделе *5* станка.

В связи с увеличением максимальных частот вращения в шпиндельных узлах токарных станков с ЧПУ средних размеров часто применяют радиально-упорные шариковые подшипники. Обычно в передней опоре устанавливаются три таких подшипника (триплекс), позволяющие воспринимать осевые нагрузки в обе стороны; в задней плавающей опоре устанавливаются двух- или однорядные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами (см. ниже рис. 1.26) или два радиально-упорных шарикоподшипника (дуплекс) — см. рис. 1.22, *а*, *б*.

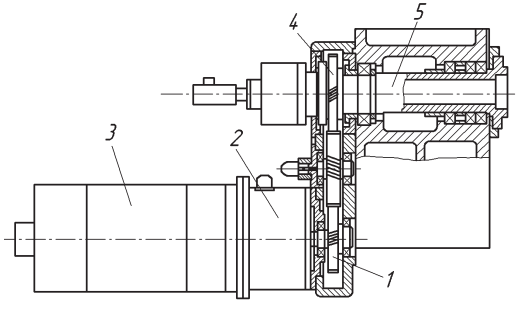


Рис. 1.24. Общий вид привода с унифицированной коробкой скоростей

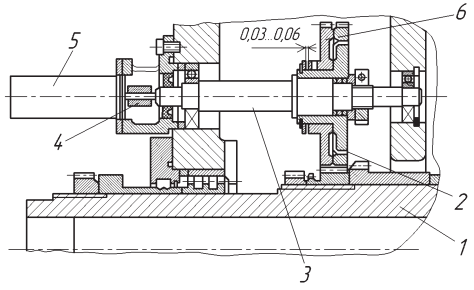


Рис. 1.25. Привод датчика резьбонарезания

На шпинделе выполняются посадочные поверхности для крепления зажимного патрона и его привода, а также для приводного элемента датчика резьбонарезания, который служит для контроля углового положения шпинделя при нарезании резьбы (рис. 1.25). Вращение датчика *5* от шпинделя *1* осуществляется зубчатой передачей с колесом *2*, жестко закрепляемым на валу *3* и в котором предусматривается выборка зазора при повороте венца *6* относительно колеса *2*. Датчик соединяется с валом *3* муфтой *4*. Иногда в соединении датчика со шпинделем применяется беззазорная зубчато-ременная передача. Точность нарезания резьбы определяется разрешающей способностью датчика (обычно 1000 импульсов на один оборот шпинделя), структурой привода подачи и системой ЧПУ. На рис. 1.26 приведена конструкция разделенного привода главного движения токарного станка с ЧПУ. Шпиндельная бабка *3* устанавливается с возможностью регулирования в двух плоскостях на промежуточном кронштейне *2*, крепящемся на станине *1*. Ременной передачей она связывается с двухступенчатой коробкой скоростей *4*, имеющей для натяжения ремня возможность поворота относительно кронштейна *2*. Вращение от двигателя через ременную передачу со шкивом *16* передается на вал-шестерню *5*. Далее при включении зубчатой муфты *15* вправо вращение передается напрямую на выходной шкив *8*, закрепляемый на валу *9* (верхний диапазон частот вращения). При выключении зубчатой муфты (левое положение колеса *14*, как показано на рисунке) вращение на выходной шкив передается через промежуточные понижающие передачи с зубчатыми колесами *5*, *6*, *7*, *14* (нижний диапазон частот вращения шпинделя).

Переключение диапазонов частот вращения шпинделя осуществляется с помощью гидроцилиндра *11*, на штоке *12* которого закрепляется вилка *13*. Для контроля переключения служат бесконтактные конечные выключатели *10*. Гидроцилиндр *17* служит для изменения натяжения ремня при переключении диапазонов скоростей в коробке; его полости соединены с полостями гидроцилиндра *11*. При верхнем диапазоне частот вращения (чистовые режимы) давление масла подается в правую полость цилиндра *17*, пружина *18* сжимается, шток гидроцилиндра перемещает корпус коробки вверх, натяжение ремня уменьшается.

На шпинделе *26*, установленном в корпусе *19*, закрепляется шкив *21* для двух поликлиновых ремней *24*. Регулирование натяга в радиально-упорных шариковых подшипниках передней опоры *25* осуществляется с помощью проставочных втулок разной ширины; в задней опоре натяг создается за счет посадки внутреннего кольца подшипника *20* на коническую шейку шпинделя. График частот вращения привода с двигателем, имеющим $n_{max} = 4500$ мин$^{-1}$, $n_н = 1500$ мин$^{-1}$, $n_{min} = 150$ мин$^{-1}$, показан на рис. 1.26, *д*. На заднем конце шпинделя закрепляется вращающийся гидроцилиндр *23* привода патрона зажима заготовки и шкив *22* зубчато-ременной передачи привода датчика резьбонарезания.

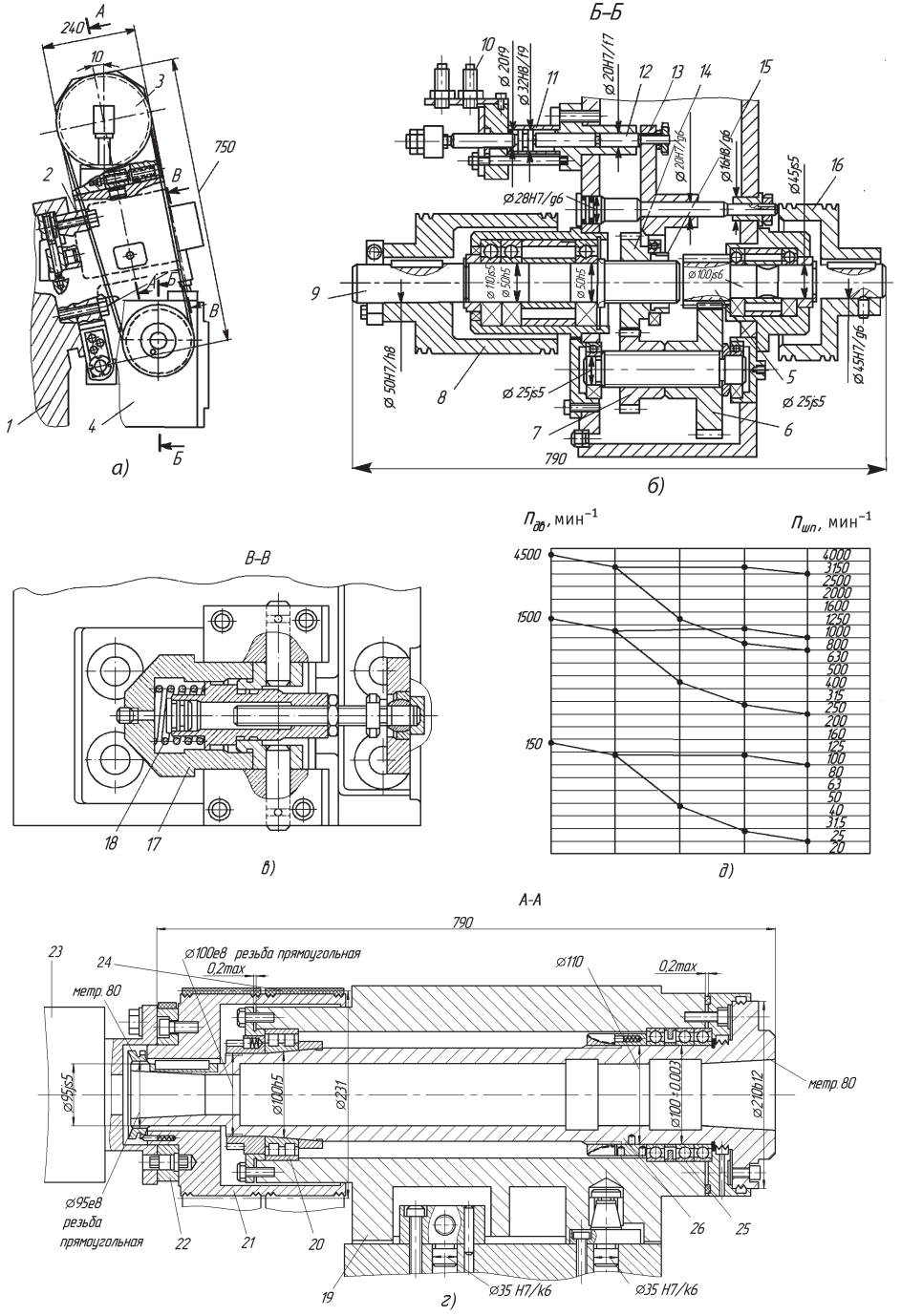


Рис. 1.26. Разделенный привод главного движения:
а — общий вид; *б* — коробка скоростей; *в* — гидроцилиндр натяжения ремня; *г* — шпиндельный узел; *д* — график частот вращения

Приводы подач. В большинстве случаев в современных станках применяются безредукторные следящие приводы подач с регулируемыми двигателями постоянного и переменного тока и датчиками обратной связи, встроенными в двигатель либо соединяемыми беззазорной (обычно сильфонной) муфтой с ходовым винтом. Типовые конструкции крестового суппорта и приводов подач по осям *Z* и *X* токарного станка с ЧПУ изображены на рис. 1.27.

На станине *1* крепятся стальные закаленные планки *2*, на направляющих продольной каретки *12* наклеены накладки из наполненного фторопласта *15*. Регулирование зазора в направляющих осуществляется клиньями *3* и *16*, а поперечное перемещение каретки — по аналогичным направляющим с планками *26* и *28* и накладками *25*. Поперечное перемещение осуществляется от высокомоментного двигателя *18* с помощью зубчато-ременной передачи *19*, шкив *11* которой жестко крепится на винте *7*. Шариковая гайка, состоящая из двух полугаек *13* и *14* с зубчатыми венцами (для регулирования натяга), монтируется в стакане *10*, расположенном в расточке кронштейна *9*, прикрепленного к каретке *27* поперечных перемещений. Левая опора винта — комбинированный роликоподшипник *5* — воспринимает осевые нагрузки в обе стороны; правая опора с шариковым подшипником — плавающая. Осевой натяг в подшипнике *5* определяется размером проставочного кольца *6*. Контроль перемещения осуществляется фотоимпульсным датчиком *21*, соединенным с помощью упругой муфты *20* с хвостовиком винта. Привод продольной подачи с винтом *22* и шариковой гайкой *23*, смонтированной в кронштейне *17*, имеет аналогичную конструкцию. Для уменьшения износа направляющих и шариковых винтов крестового суппорта предусмотрены защитное устройство *4*, щитки *24* и скребки *8*.

Конструкция крестового суппорта токарного станка с ЧПУ с комбинированными направляющими качения—скольжения (пара наполненный фторопласт — закаленная сталь) представлена на рис. 1.28. Каретка *8* перемещается в продольном направлении с помощью шариковой гайки *14* по направляющим станины со стальными закаленными планками *16* и *2*. Зеркало направляющих имеет угол наклона 75° к горизонтали (на чертеже они условно показаны горизонтальными). Боковые грани планки *2* сопрягаются с роликовыми опорами (танкетками) *11* и *12*, натяг в которых создается с помощью клина *13*. Боковая грань планки *16* дополнительно замыкается подпружиненной танкеткой *7* (сечение *А—А*). Основные и дополнительные грани направляющих контактируют с соответствующими накладками из фторопласта, зазор в них регулируется нижними планками *10* и *15*. Верхняя каретка *3* с поворотным резцедержателем *4* перемещается в поперечном направлении с помощью шариковой гайки *9* от винта *1*, вращающегося через сильфонную муфту *6* от высокомоментного двигателя *5*. Стальные закаленные планки *24* и *27* по боковым граням контактируют с роликовыми опорами *23* и *28*, натяг в которых создается клином *29*. По основным и дополнительным граням с планками контактируют накладки из наполненного фторопласта *26*. Зазор в гранях скольжения регулируется с помощью нижних планок *22* и *30*. Привод поперечной подачи от силы тяжести наклонно расположенных узлов разгружается с помощью гидроцилиндра *18*, корпус которого закрепляется на кронштейне *20*, установленном на каретке *8*, а шток поршня *19* — на кронштейне *17*, связанном с кареткой поперечного перемещения *3*.

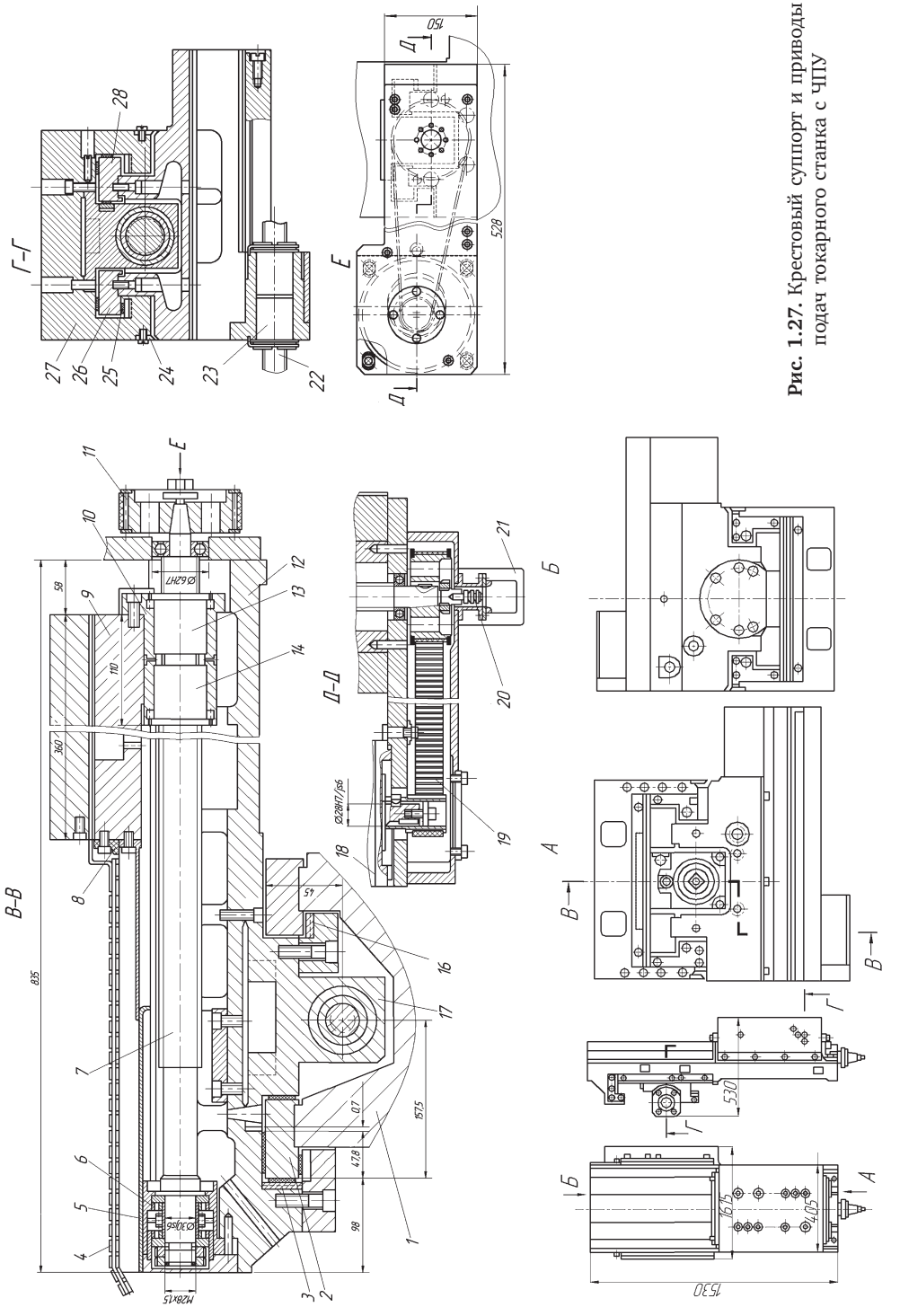


Рис. 1.27. Крестовый суппорт и приводы подач токарного станка с ЧПУ

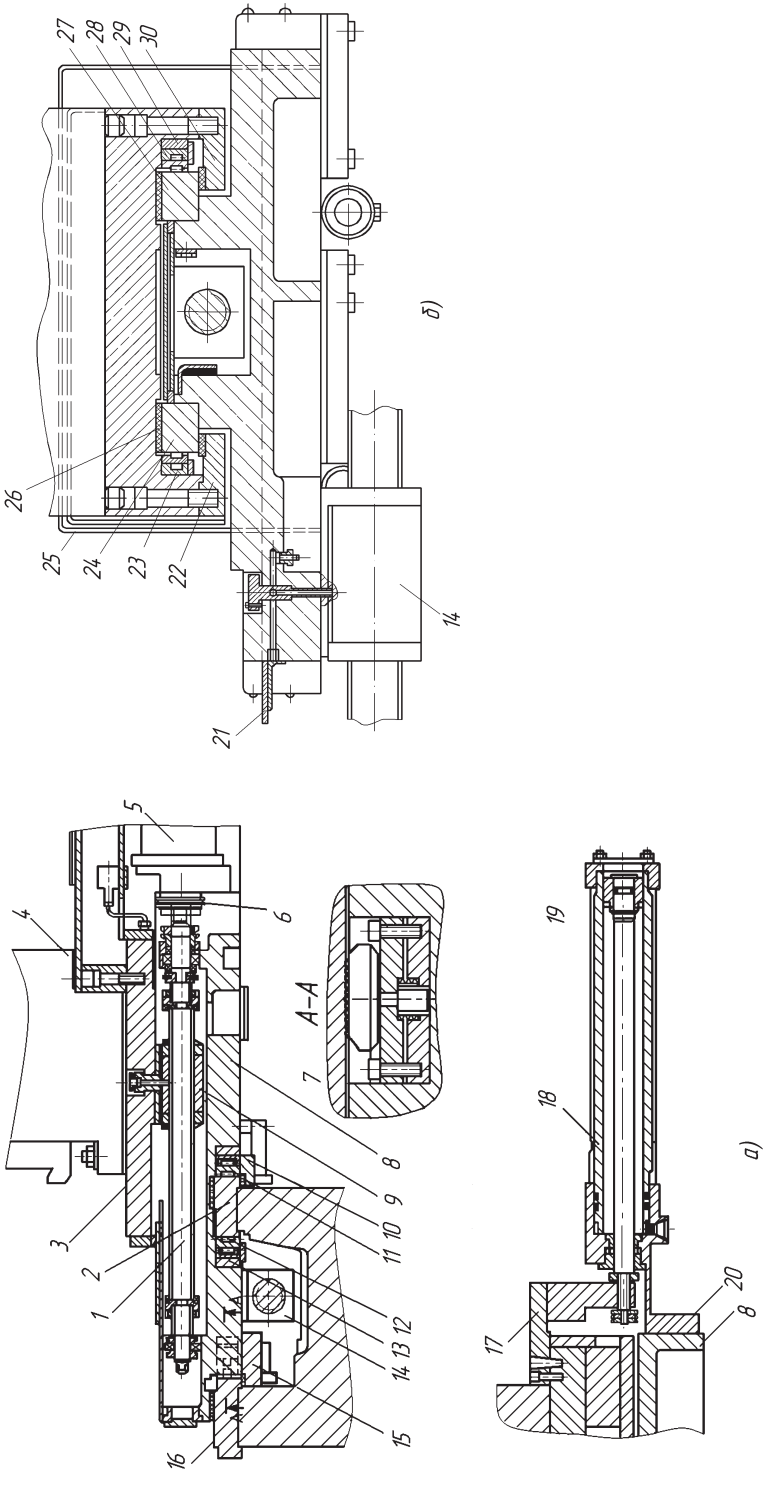


Рис. 1.28. Крестовый суппорт с комбинированными направляющими:
а — продольный разрез; *б* — поперечный разрез

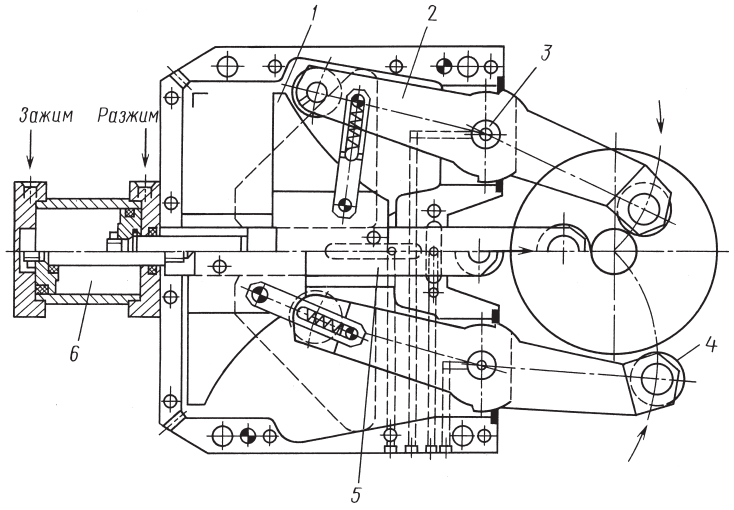


Рис. 1.29. Самоцентрирующий люнет

Направляющие и винты защищены щитками *21* и *25*. Для увеличения жесткости привода подач, повышения его быстроходности винт шариковой передачи иногда фиксируют в осевом направлении в обеих опорах с помощью комбинированных роликовых подшипников, что позволяет осуществить предварительное растяжение винта.

Оснастка токарных станков с ЧПУ. Заготовки закрепляются в быстропереналаживаемых механизированных патронах различных типов с пневмо-, гидро- или электроприводом (см. т. 1, п. 6.4). Сокращение времени, затрачиваемого на растачивание незакаленных кулачков после их установки в патроне, достигается за счет их автоматической обработки по заранее заданной программе. Для исключения растачивания на станке применяют незакаленные накладные, заранее обработанные на заданный диаметр кулачки, фиксируемые в основных кулачках.

При обработке валов задняя бабка оснащается вращающимися центрами и гидроприводом поджима и фиксации пиноли. После установочного (по командам УЧПУ) перемещения задней бабки она фиксируется на направляющих также с помощью гидроцилиндра. При обработке длинных нежестких валов применяют самоцентрирующие неподвижные и подвижные (дополнительная управляемая координата) люнеты. Люнет (рис. 1.29) состоит из корпуса с пневмо- или гидроцилиндром *6*, с плунжером *5* которого связаны кулачки (копиры) *1*. При их перемещении поворачиваются относительно осей *3* подпружиненные рычаги *2* с роликами *4* на игольчатых подшипниках. Люнеты устанавливаются по обработанным поверхностям, обеспечивают большой диапазон центрирования заготовок с точностью до 0,01...0,005 мм; они могут также использоваться в качестве основной опоры при обработке (без заднего центра) конца вала или отверстий в нем.

Режущий инструмент в станках с ЧПУ устанавливается с помощью различных комплектов вспомогательной оснастки в револьверных головках или резцедер-

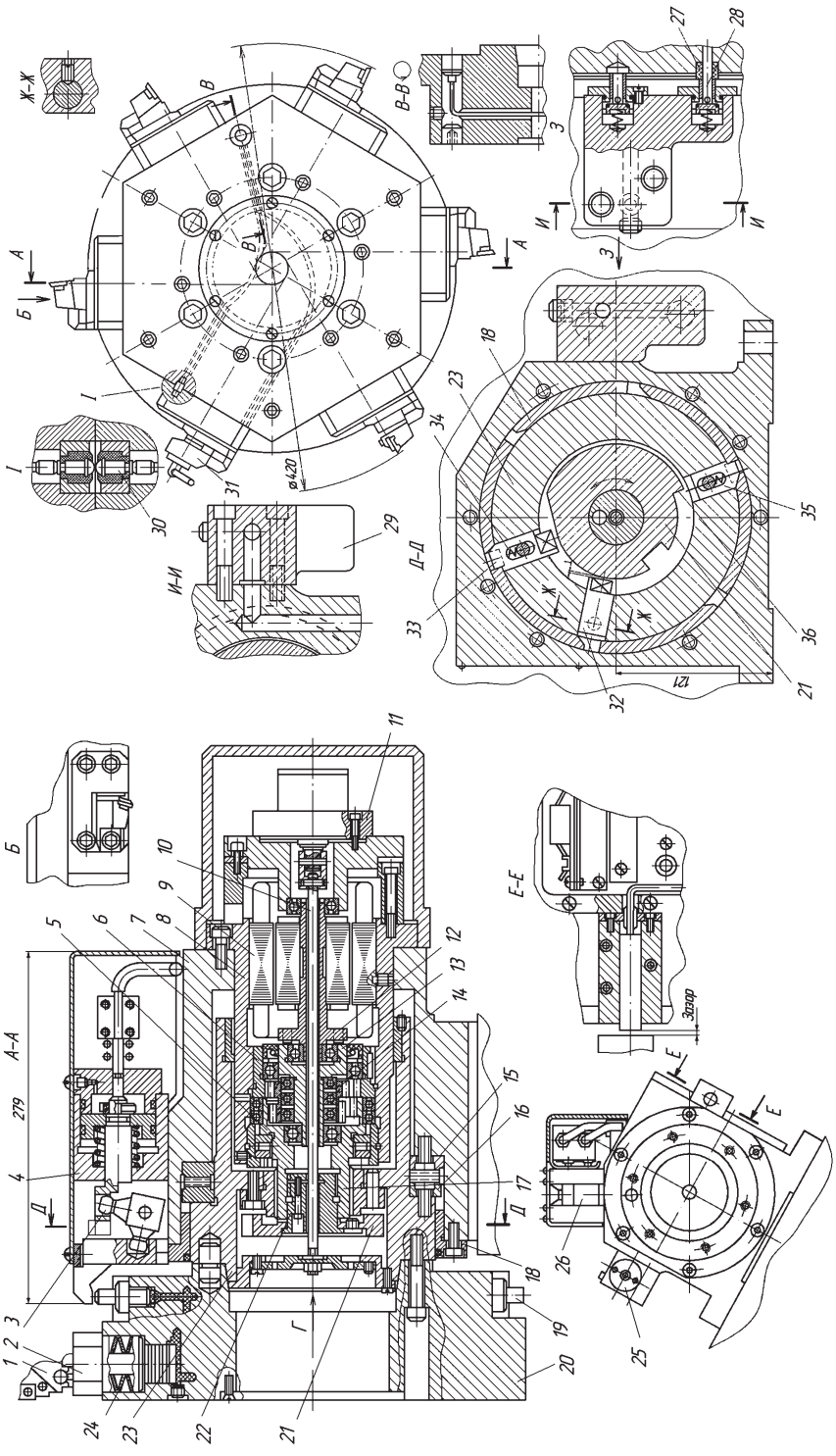


Рис. 1.30. Револьверная головка с автоматической сменой инструмента

жателях и дополнительных шпиндельных головках при автоматической смене из магазина (см. т. 1, п. 5.7). Для замены инструмента в револьверных головках (смена износившегося инструмента или переход на обработку другой детали) применяются дополнительные устройства, управляемые по командам УЧПУ.

Конструкция револьверной головки со сменой инструмента приведена на рис. 1.30. Расфиксация револьверной головки происходит при вращении ротора, встроенного в стакан *8* электродвигателя *9*. При этом через поводковую муфту *12* вращается эксцентрично расположенный блок сателлитов *13*. Колесо *14*, обкатываясь по неподвижному колесу *6* с внутренним зубом, приводит во вращение колесо *5*, на левом торце которого выполнена резьба *17*, сопрягающаяся с гайкой. При перемещении гайки влево происходит перемещение стакана *23*, на торце которого расположен сменный инструментальный диск *20*. На нем также установлено плоское зубчатое колесо *16*, которое при перемещении влево выходит из зацепления с закрепленным на корпусе головки плоским колесом *15*. При дальнейшем вращении двигателя кулачок *21* (вращается по часовой стрелке), связанный торцовой зубчатой муфтой и гайкой *22* с колесом *5*, своим выступом *36* воздействует на поводок *32*, жестко закрепленный в стакане *23*. Фиксаторы *33* и *35* за счет скосов сжимают пружину *34*, утапливаются (при этом выступ фиксатора *33* входит в прямоугольный паз на кулачке) и освобождают стакан от сцепления с кольцом *18*, прикрепленным к корпусу. Происходит поворот револьверной головки в заданную позицию, которая контролируется датчиком *11*, связанным со стаканом *23* валиком *10*. По команде датчика двигатель *9* реверсируется, фиксаторы *33* и *35* западают в соответствующие гнезда на кольце *18*, исключая обратный поворот стакана с инструментальным диском. Следовательно, при вращении шестерни *5* через гайку стакан *23* с плоским зубчатым колесом *16* смещается вправо, фиксируя револьверную головку. Для исключения ударов при повороте головки используют демпфер *30*. После сжатия зубчатых полумуфт *15* и *16* с требуемым усилием происходит отключение электродвигателя *9* с помощью реле тока.

Включение подачи СОЖ на инструментальные блоки осуществляется нажатием толкателем *27* клапана *28* при фиксации инструментального диска в рабочей позиции. Коллектор *29* (*25*) для подачи СОЖ крепится сбоку к корпусу револьверной головки.

Механизм разжима инструментального блока в позиции смены установлен в корпусе *7* и состоит из гидроцилиндра *4*, рычага *3* и толкателя *26*. При подаче масла в правую полость гидроцилиндра толкатель воздействует на плунжер *19*, который через гидропласт передает давление под поршень инструментального блока *2*; пружина *24* сжимается, освобождая сменную головку *1* блока, имеющую Ω-образный паз (см. также т. 1, п. 6.1).

Устройства автоматического контроля и измерения. Для контроля геометрических размеров обрабатываемой заготовки и инструмента, устанавливаемых на токарном станке с ЧПУ, обычно используют измерительные контактные (щуповые) головки. Датчик касания, встроенный в такую головку, регистрирует момент контакта с измеряемой поверхностью, подавая импульсный сигнал о положении головки в момент касания (по соответствующей координате) в систему ЧПУ станка. Тем самым можно проводить проверку результатов обработки дета-

лей без снятия их со станка, привязку режущих кромок инструмента после его смены к координатам нулевой точки станка и вводить в программу обработки соответствующую коррекцию. При измерении размеров детали 3-координатная щуповая головка устанавливается в одной из позиций инструментального диска (на рис. 1.30 головка *31*).

1.2.4. Токарные многоцелевые станки

Как показывает технологический анализ, более 70% деталей типа тел вращения кроме токарной обработки требуют проведения дополнительных операций. К ним относятся (рис. 1.31):

• обработка отверстий (сверление, зенкерование, развертывание, расточка, нарезка резьбы), оси которых расположены параллельно, перпендикулярно или под углом к оси детали; фрезерование под разными углами лысок, пазов (в том числе шпоночных);

• объемная фрезерная обработка (фрезерование профильных канавок, полостей переменной глубины, профильных кулачков).

Создание многоцелевых токарных станков, обеспечивающих полную комплексную обработку деталей типа тел вращения на одном станке за одну установку, позволяет существенно повысить точность и производительность об-

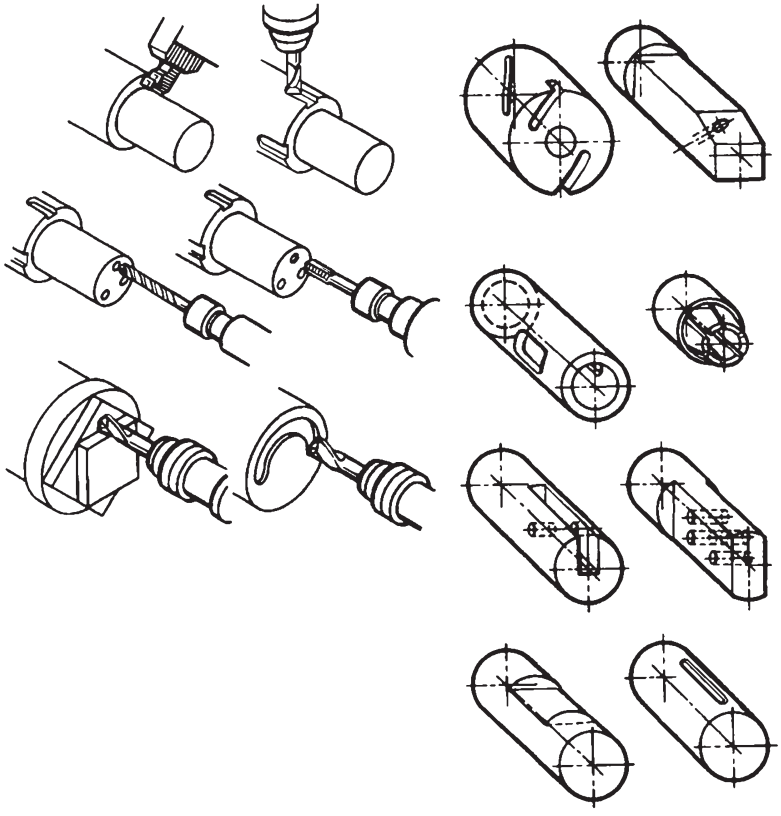


Рис. 1.31. Примеры дополнительной обработки деталей типа тел вращения

работки, сократить производственный цикл, обеспечить повышение общего уровня автоматизации технологических процессов, а также быструю переналадку при переходе на обработку другой детали. Токарные многоцелевые станки изготавливаются на базе аналогичных токарных станков с ЧПУ, а дополнительные операции обеспечиваются за счет оснащения шпинделя станка приводом его углового позиционирования (привод полярной координаты *C*) с соответствующим блоком управления и приводом вращения инструмента (сверл, разверток, метчиков и т. п.).

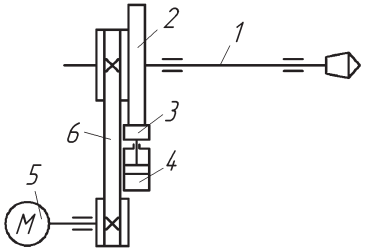


Рис. 1.32. Схема фиксации шпиндельного узла

Привод полярной координаты в зависимости от условий обработки должен обеспечивать либо позиционное управление (механизм деления) с дискретностью 1...2°, либо непрерывное управление с дискретностью примерно 0,001° и вращение с частотой 0,2...0,25 мин$^{-1}$. Первый режим используется при обработке внецентровых отверстий, продольных или поперечных плоскостей, фрезеровании лысок, шпоночных пазов и т. д. В этом случае шпиндель поворачивается на определенный угол и жестко фиксируется для возможности последующей обработки. Второй режим используется для контурной обработки поверхностей кулачков, фасонных пазов и других сложных поверхностей. В этом случае привод обеспечивает также и возможность дискретного поворота на заданный угол.

На рис. 1.32 представлена принципиальная схема привода, обеспечивающего как режим обычной токарной обработки, так и режимы внецентрового сверления, точения и фрезерования. При втором режиме шпиндель индексируется обычно с дискретностью 1...2,5° (точность ±0,01°, повторяемость ±0,005°). Фиксация требуемого положения шпинделя *1* осуществляется с помощью специального, консольно-расположенного зубчатого колеса *2* и зубчатого сектора (секторов) *3*, перемещаемого от гидроцилиндра *4*. Угловое положение шпинделя контролируется либо круговым датчиком, встроенным в электродвигатель *5*, связанным со шпинделем ременной передачей *6*, либо датчиком резьбонарезания станка. Рассмотренный привод не обеспечивает режима контурной обработки. Непрерывный привод полярной координаты принципиально может быть выполнен по однодвигательной или двухдвигательной схеме. На рис. 1.33 дана принципиальная схема однодвигательного привода шпинделя *1*, обеспечивающего кроме главного движения и режим контурной обработки в сочетании с линейными координатами.

Положение шпинделя контролируется роторным датчиком *5* обратной связи (датчиком резьбонарезания). Связь двигателя *3* со шпинделем осуществляется через зубчатую *2—7* и ременную *4* передачи. Электромагнитный тормоз *6* работает в двух режимах: подтормаживания — для выборки в одну сторону зазоров в кинематических элементах привода при контурной обработке и в режиме фиксации в заданном положении — при позиционировании шпинделя.

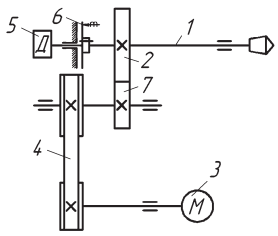


Рис. 1.33. Схема однодвигательного привода шпинделя

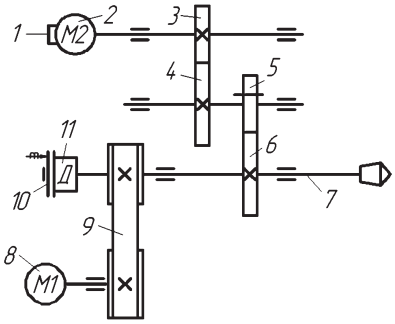


Рис. 1.34. Двухдвигательный привод шпинделя со скользящей шестерней

Двухдвигательные приводы шпинделя применяются обычно в станках среднего и крупного размеров. В этом случае более мощный двигатель используется для традиционных токарных операций, а меньший — для углового привода шпинделя в следящем режиме (контурное фрезерование, позиционирование). Привод обеспечивает высокую надежность и точность, но более сложен. Включение-отключение привода полярной координаты может осуществляться либо посредством электромагнитных или зубчатых муфт, работающих по командам УЧПУ, либо сцеплением-расцеплением кинематических пар, обеспечивающих связь дополнительного двигателя со шпинделем станка.

На рис. 1.34 представлен двухдвигательный привод вращения шпинделя *7*. Привод полярной координаты осуществляется от регулируемого двигателя *2* с датчиком *1* углового положения ротора через зубчатые колеса *3*—*4* и *5*—*6*. Вращение шпинделя со скоростями главного движения обеспечивается регулируемым двигателем *8* через ременную передачу *9*. Шпиндель оснащен тормозным устройством *10* и датчиком углового положения *11*. Включение-отключение привода полярной координаты осуществляется с помощью колеса *5*, перемещаемого по команде УЧПУ в осевом направлении. Наличие датчиков *1* и *11* позволяет контролировать угловое положение колес *5* и *6*, что исключает возможность «утыкания» их зубьев при включении привода полярной координаты. Фиксация шпинделя в режиме позиционирования обеспечивается с помощью тормоза *10*; он же, работая в режиме «подтормаживания», осуществляет выборку зазоров в цепи привода координаты *C*.

Конструктивное оформление привода с поворотом редуктора полярной координаты приведено на рис. 1.35. Корпус редуктора *3* поворачивается с помощью гидроцилиндра *14* относительно рычага *4*, жестко связанного с осью *5*, зафиксированной на кронштейне *6*, закрепленном на корпусе шпиндельной бабки *1*. При этом колесо *11* зацепляется с колесом *10*, расположенным на шпинделе. Для возможности их зацепления контролируются угловое положение шпинделя с помощью датчика резьбонарезания и угловое положение вала редуктора датчиком *7*. При отключении гидропривода пружина *15* обеспечивает гарантированное отключение привода полярной координаты, расцепляя колеса *10* и *11*. Включенное и отключенное положения контролируются конечными выключателями. Медленное следящее вращение шпинделя осуществляется от регулируемого двигателя постоянного тока, закрепленного на плите *2* (рис. 1.35, *а*), связанной с корпусом редуктора *3*. Двигатель соединяется зубчато-ременной передачей ($i = 1/2$) с редуктором, на входном валу которого с помощью беззазорного соединения зафиксирован шкив *13* (рис. 1.35, *б*). Далее вращение передается через косозубую передачу, выбор зазора в которой происходит относительным осевым смещением колес *8* и *9* с помощью тарельчатых пружин *12*. Радиальное усилие сопряжения шестерен *10, 11* обеспечивается давлением масла в гидроцилиндре *14*.

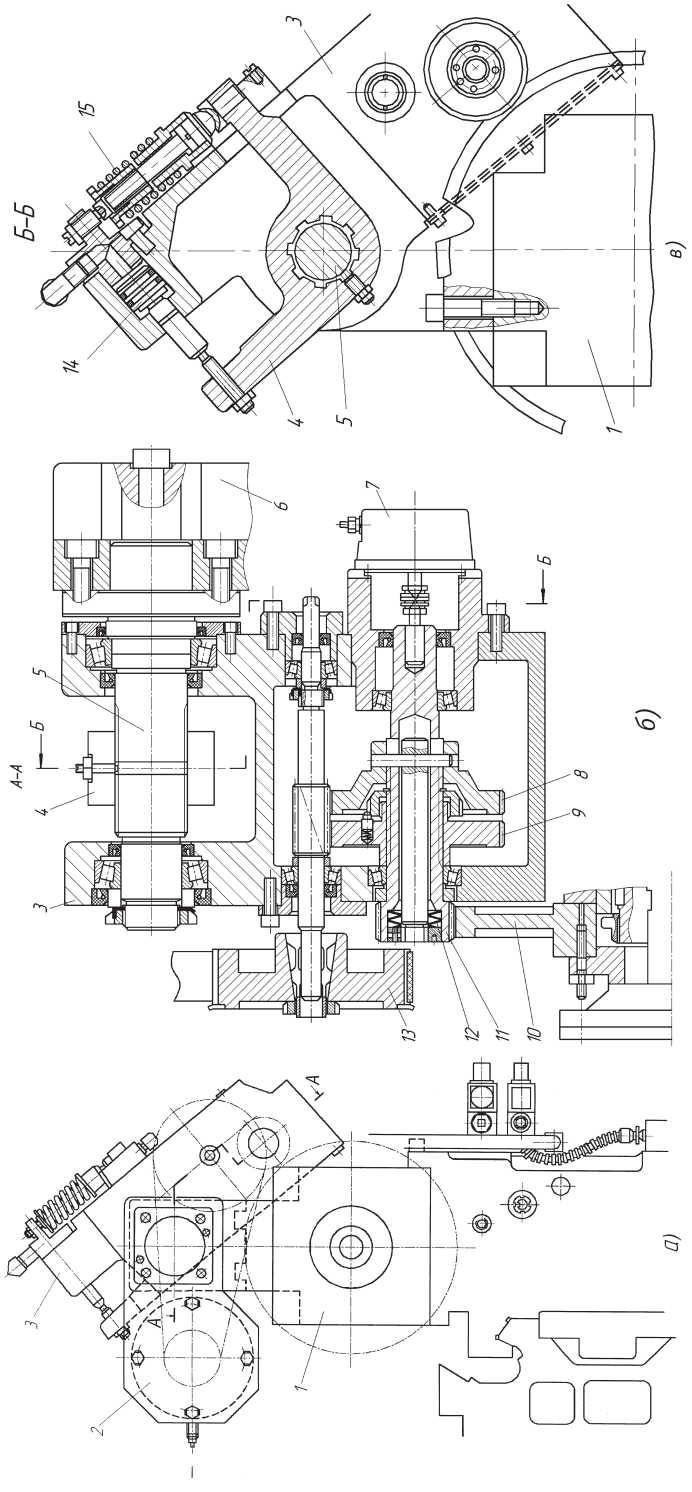


Рис. 1.35. Конструкция привода полярной координаты с поворотным редуктором

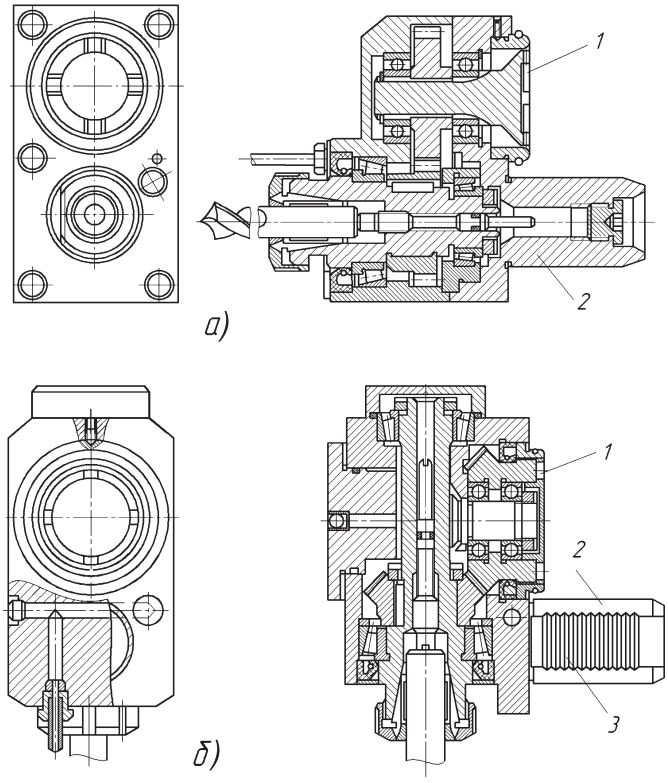


Рис. 1.36. Шпиндельная головка для инструмента:
параллельного оси шпинделя (*а*) и перпендикулярного оси шпинделя (*б*)

Привод вращающегося инструмента. Для 95% деталей, обрабатываемых на многоцелевых станках, достаточно 5—6 вращающихся инструментов в одной наладке. Для их установки в инструментальном диске используются специальные шпиндельные головки, обычно с цанговым зажимом (рис. 1.36). В зависимости от расположения оси инструмента используется простая (рис. 1.36, *а*) или угловая (рис. 1.36, *б*) головка. Вращение на инструмент передается с помощью торцовых кулачковых муфт *1* через соответствующие зубчатые передачи. Центрирование и фиксация головок осуществляются с помощью цилиндрического хвостовика *2*, на котором выполняется плоская лыска с рифлениями *3*. В качестве привода вращения инструмента используются, как правило, индивидуальные регулируемые двигатели.

Различают два основных способа передачи вращения на инструмент: привод со всеми вращающимися инструментами и привод с вращением только инструмента, находящегося в рабочей позиции. В первом случае (рис. 1.37) вращение от индивидуального двигателя *1* через ременную передачу *2* передается на центральный вал *3*, а затем от центральной шестерни *5* — на сателлитные колеса *4*, связанные с кулачковыми муфтами *6*. При фиксации инструментального диска при его осевом смещении с этими муфтами зацепляются соответствующие муфты шпиндельных головок. Револьверные головки, работающие по такому прин-

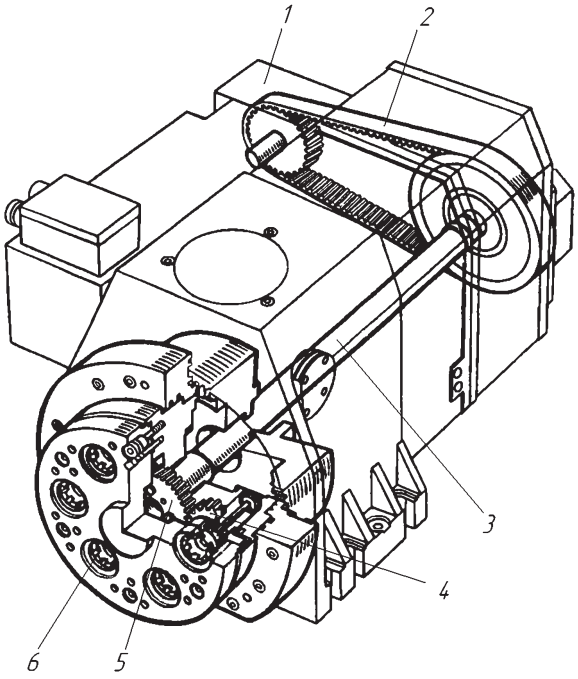


Рис. 1.37. Револьверная головка с вращением всех инструментов

ципу, имеют ограничения по числу вращающихся инструментов. Кроме того, на неработающие вращающиеся инструменты может наматываться стружка, что представляет опасность для обслуживающего персонала.

При вращении только одного рабочего инструмента для его включения либо используются управляемые муфты, установленные в соответствующей позиции, либо включение обеспечивается конструкцией инструментального диска. На рис. 1.38 приведена конструкция револьверной головки многоцелевого токарного станка с приводом вращающегося инструмента, выполненного по последней схеме. Головка отличается отсутствием осевого смещения инструментального диска при его расфиксации, что исключает возможность засасывания в головку стружки и СОЖ.

Двенадцатипозиционная головка имеет возможность вращения в обе стороны, при этом время позиционирования составляет от 1 с (поворот на 30°, т. е. переход в соседнюю позицию) до 3 с (поворот на 180°). По точностным характеристикам головка удовлетворяет общим требованиям: стабильность (повторяемость) позиционирования ±2″; точность позиционирования (деления) ±6″.

При отключенном тормозе *24* вращение от двигателя *29* через зубчатые колеса *28*, *27* и *26* передается на червяк *25*, а от него — на червячное колесо *16*. Через шпонку *9* вращается втулка *8* с шаровыми опорами *13*, которые смещаются в угловом направлении относительно шаровых опор *12*, связанных с фиксирующей муфтой *4*. Расстояние между торцами опор при неподвижной муфте *4* уменьшается, разжимаются тарельчатые пружины *15* до упора торца втулки *17*

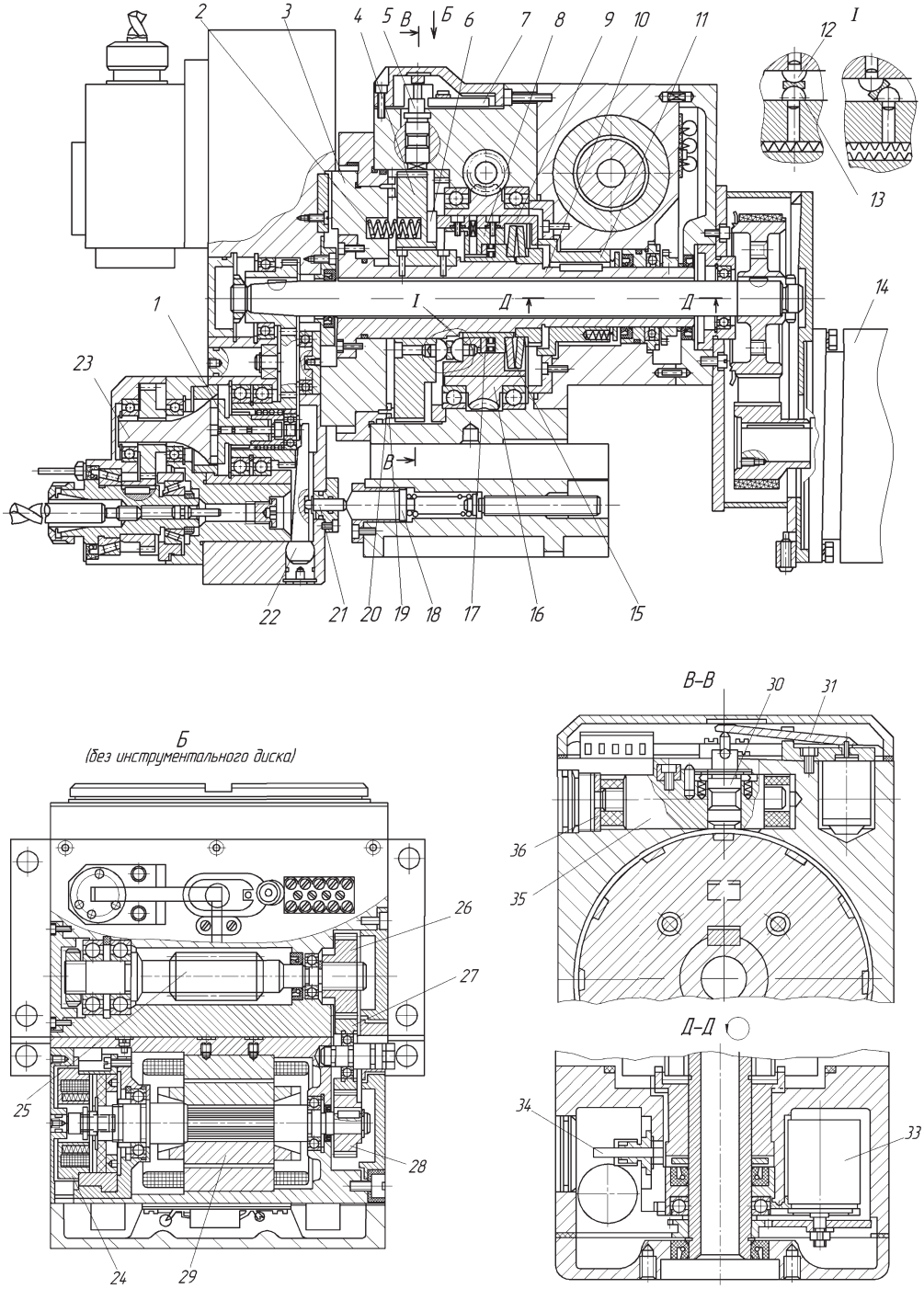


Рис. 1.38. Револьверная головка многоцелевого станка

в выступ шпинделя *10* головки. Одновременно под действием пружин *2*, установленных в диске *3*, муфта *4* выходит из зацепления с торцовыми полумуфтами *19* и *20*. Происходит расфиксация револьверной головки без осевого смещения инструментального диска; при этом контроль расфиксации осуществляется бесконтактным датчиком *34* за счет осевого смещения втулки *11* при взаимодействии торцовой поверхности шпонки *9* и торцового кулачка на детали *11*. При дальнейшем вращении двигателя шпонка *9* с помощью паза *6* вращает муфту *4* и через нее шпиндель *10* с инструментальным диском.

Достижение требуемой позиции контролируется датчиком угловых перемещений *33*. Предварительная фиксация для ориентации зубьев на деталях *4*, *19* и *20* осуществляется с помощью фиксатора *30*, который перемещается через рычаг *31* и упор *5* с помощью электромагнита *32*. При отключенном электромагните фиксатор с помощью двух пружин выходит из фиксирующего паза в муфте *4*. Предварительный фиксатор *30* расположен в штоке *35*, который установлен в двух упругих элементах *36*, демпфирующих ударные нагрузки, возникающие при остановке инструментального диска; его положение контролируется датчиком *7*. При достижении заданной позиции (по сигналам датчика *33*) двигатель реверсируется, и при зафиксированной (невращающейся) муфте *4* шаровые опоры *12* и *13* смещаются друг относительно друга. Расстояние между центрами шаровых опор увеличивается, происходит осевое смещение муфты *4*, ее зубья входят в зацепление с торцовыми зубьями полумуфт *19* и *20*, затем сжимаются тарельчатые пружины. Контроль фиксации осуществляется при смещении втулки *11* относительно датчика *34*. Срабатывает тормоз *24*, отключаются двигатель *29* и электромагнит *32*.

Вращение инструмента в рабочей позиции осуществляется центральным приводом от двигателя *14*. При этом в соответствующей позиции головки рычаг *22* поворачивается толкателем *21*, контактирующим с подпружиненным упором *18*. Включается кулачковая муфта *1*, и через муфту *23* вращение передается на инструмент.

Для управления циклом позиционирования (рис. 1.39) из головки поступают сигналы, вырабатываемые: преобразователем угловых перемещений *6*; датчиком контроля предварительной фиксации *4* (индексации); датчиком контроля фиксации (по часовой стрелке) *5*; датчиком контроля фиксации (против часовой стрелки) *7*; электродвигателем *1*; тормозом *2*; электромагнитом *3* фиксатора. На циклограмме представлены два перехода: в левой части — из позиции 1 в позицию 2; в правой — из позиции 2 в позицию 12. Последовательность прохождения управляющих сигналов следующая: тормоз *2* растормаживается, при этом на обмотку тормоза подается напряжение по истечении времени T_1, необходимого для растормаживания; двигатель *1* начинает вращаться в направлении, которое имеет наименьший угол поворота для достижения рабочего положения от текущего. Завершается выключение датчика контроля фиксации *5*; в случае индексации головки из позиции 1 в последующую позицию 2 происходит ожидание падения стробирующего сигнала позиции 1 до «0»-го уровня, и преобразователь угловых перемещений *6* дает сигнал на включение электромагнита *3*.

В случае индексации головки из 2-й в 12-ю позицию происходит ожидание считывания преобразователем угловых перемещений 1-й позиции, а так как сле-

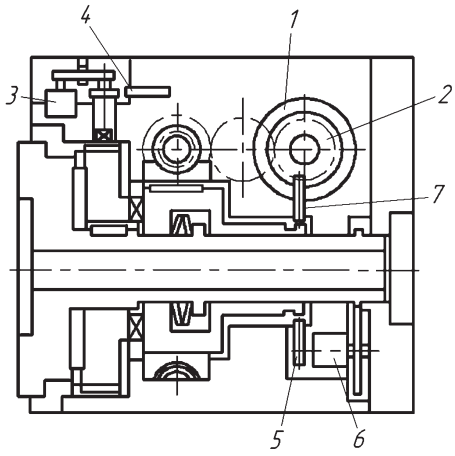


Табл. 1

Функции	Позиции											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-й разряд	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2-й разряд	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
3-й разряд	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
4-й разряд	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Строб	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Табл. 2

Заданное время	T_1, мс	70
	T_2, мс	50
	T_3, мс	200
Допустимая задержка	R_1, мс	60
	R_2, мс	40

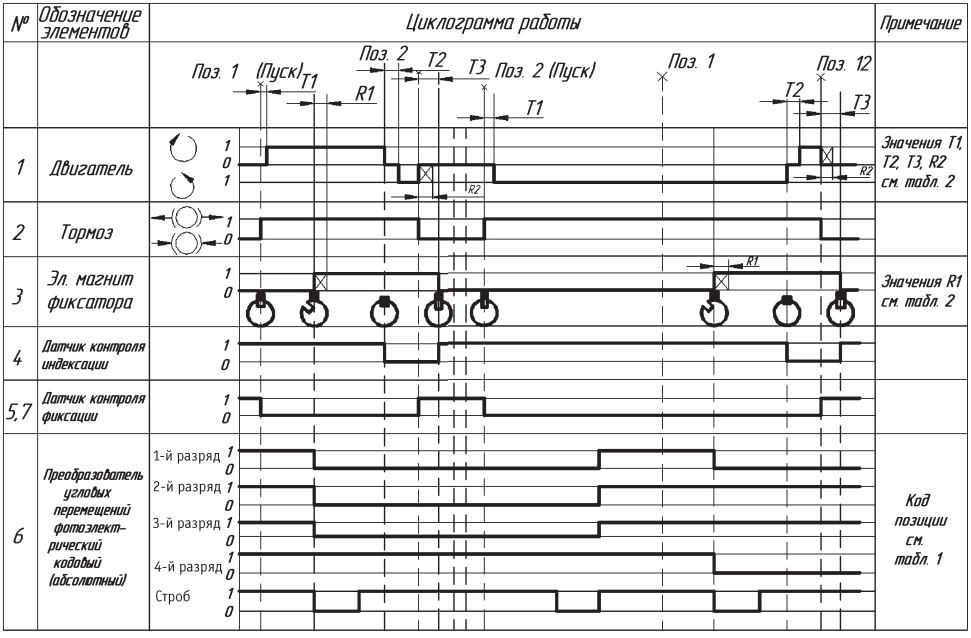


Рис. 1.39. Циклограмма работы револьверной головки

дующая за ней 12-я позиция является индексируемой, то идет ожидание падения стробирующего сигнала 1-й позиции до «0»-го уровня, и только после этого срабатывает электромагнит *3*. Таким образом, включение электромагнита *3* происходит до достижения выбранной позиции при падении стробирующего сигнала предшествующей позиции до «0»-го уровня. Максимально допустимый промежуток времени между считыванием стробирующего сигнала и фактическим включением электромагнита *3* должен быть не более значения R_1, указанного

в табл. 2 на рис. 1.39. Вращение головки происходит до тех пор, пока предварительный фиксатор, приводимый в действие электромагнитом *3*, не попадет в фиксирующий паз муфты. Этот момент регистрируется пропаданием сигнала от датчика контроля индексации *4*, который останавливает двигатель *1*. По истечении времени T_2 двигатель должен начать вращаться в противоположном направлении.

Наличие кодового сигнала выбранной позиции, поступающего от преобразователя угловых перемещений *6*, и сигнала от датчика контроля индексации *4* свидетельствует о правильной предварительной фиксации головки. Отсутствие одного из сигналов означает ошибку позиционирования. При поступлении сигнала от датчика *5* происходит фиксация револьверной головки. Этот сигнал используется одновременно для остановки двигателя *1* и для срабатывания тормоза *2*, при этом снимается напряжение с обмотки тормоза.

Максимальное время рассогласования от момента поступления сигнала с датчика *5* до момента фактического останова двигателя может быть не более значения R_2, приведенного в табл. 2 на рис. 1.39. После завершения останова двигателя может подаваться сигнал на пуск станка. По истечении времени T_3 после поступления сигнала от датчика *5* электромагнит *3* отключается, при этом предварительный фиксатор выходит из фиксирующего паза, что контролируется появлением сигнала от датчика *4*. На этом цикл индексации завершается, и головка готова к следующему циклу.

Наличие в головке нескольких вращающихся осевых и радиальных инструментов с большим вылетом ограничивает технологические возможности станка, затрудняет программирование, которое должно исключить возможность столкновения инструмента с патроном или обрабатываемой заготовкой. Необходимость размещения инструментальных оправок с фиксирующими и приводными элементами, приводов вращения инструмента приводит к значительному увеличению габаритов револьверных головок и усложняет их конструкцию.

Применение одноинструментальных шпиндельных головок с независимым приводом со сменой инструмента из магазина манипуляторами по типу сверлильно-фрезерных многоцелевых станков обеспечивает существенное расширение технологических возможностей станка, большую жесткость и точность установки инструмента, однако повышается стоимость станка, усложняется его управление.

1.2.5. Токарный патронно-центровой станок с ЧПУ мод. 17А20ПФ40

На его базе выпускаются двухсуппортной станок, а при применении привода полярной координаты, револьверной головки с вращающимся инструментом и соответствующей модификации системы ЧПУ — многоцелевой станок мод. 17А20ПФ40. Станок предназначен для выполнения всех видов токарной обработки, включая нарезание резьб резцами; многоцелевой станок имеет те же самые технические характеристики (табл. 1.2), что и базовый, и позволяет дополнительно проводить обработку нецентровых отверстий, канавок, плоских и криволинейных поверхностей.

Кинематическая схема станка. Станок выполняется с компоновкой, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.20, *б*; кинематическая схема

1.2. Основные технические характеристики станка мод. 17А20ПФ40

Диаметр обрабатываемой заготовки, мм, не более	250
Диаметр заготовки, устанавливаемой над станиной, мм, не более	400
Длина устанавливаемой заготовки, мм, не более	1000 или 1500
Число суппортов	1 или 2 (по заказу)
Высота резца, устанавливаемого в резцедержателе, мм, не более	25
Диаметр отверстия в инструментальном диске под цилиндрический хвостовик инструментального блока, мм	50
Диаметр вращающегося инструмента, мм, не более: сверло концевая фреза метчик	 20 20 16
Частота вращения шпинделя изделия, мин$^{-1}$, не более	3150 (по заказу 4000)
Частота вращения инструментального шпинделя, мин$^{-1}$, не более	3000
Скорость быстрых перемещений, м/мин: по оси *X* по оси *Z*	 10 15
Частота вращения шпинделя по координате *C*, мин$^{-1}$, не более	20
Вращающий момент на шпинделе, Н·м, не более	630
Вращающий момент на шпинделе по координате *C*, Н·м, не более	300
Усилие подачи суппортов, Н, не более продольное поперечное	 15000 7500
Габариты, мм: длина (без транспортера стружки) ширина высота	 3850 или 4350 1660 1750
Масса, кг, не более при двух суппортах	5500 или 6150 6100 или 6750
Число управляемых координат	4
Максимальное число одновременно управляемых координат, не более	3
Дискретность задания перемещений: продольных, мм поперечных, мм по координате *C*, °	 0,001 0,001 0,001
Пределы программируемых подач, мм/об: продольных поперечных	 0,01…40,95 0,005…20
Пределы шагов нарезаемых резьб, мм	0,5…40,95

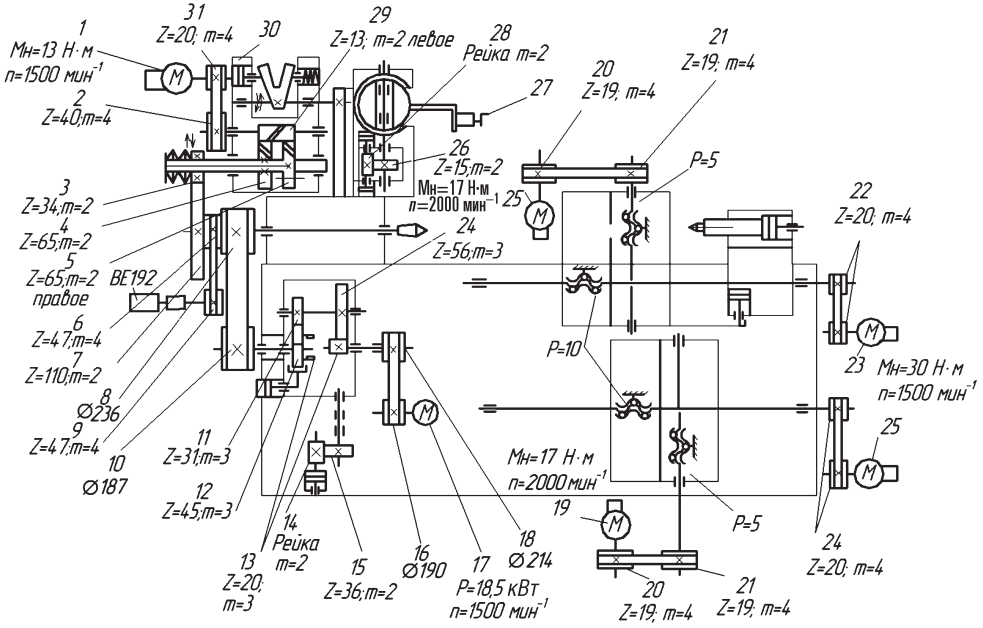


Рис. 1.40. Кинематическая схема станка мод. 17А20ПФ40

станка приведена на рис. 1.40. Вращение шпинделя осуществляется от двигателя *17* с регулируемой частотой вращения через ременную передачу со шкивами *16* и *18*, двухступенчатую коробку скоростей и поликлиновую ременную передачу со шкивами *8* и *10*. Коробка скоростей в зависимости от положения шестерни-муфты *12*, *13* (которая переключается с помощью гидроцилиндра) обеспечивает передачу вращения или напрямую (передаточное отношение 1:1) или через шестерни *13—24*, *11—12* с общим передаточным отношением $i = 1{:}4$. Резьбонарезание осуществляется с помощью датчика *BE192*, связанного со шпинделем зубчато-ременной передачей *6—9*.

Натяжение ременной передачи на шпинделе изменяется в зависимости от диапазонов частот вращения в коробке скоростей с помощью гидроцилиндра и зубчато-реечной передачи *14—15*. Конструктивно привод выполнен по рис. 1.26, где приведен и график частот вращения шпинделя.

Продольное и поперечное перемещения суппортов осуществляются от регулируемых высокомоментных двигателей *19*, *23*, *25* с встроенными датчиками обратной связи через соответствующие зубчато-ременные передачи *20*, *21*, *22*, *24* и шариковые винтовые пары с шагом $P = 10$ мм или $P = 5$ мм. Для контроля перемещений в поперечном направлении (координата *X*) возможно применение фотоэлектрических датчиков линейных перемещений. Конструкция суппортов аналогична конструкции, приведенной на рис. 1.27. Отличие заключается в форме поперечного сечения направляющих, которые выполнены по схеме типа «комбинированный ласточкин хвост», и в том, что в них применена пара трения металл—пластик из антифрикционного компаунда на основе эпоксидной смолы.

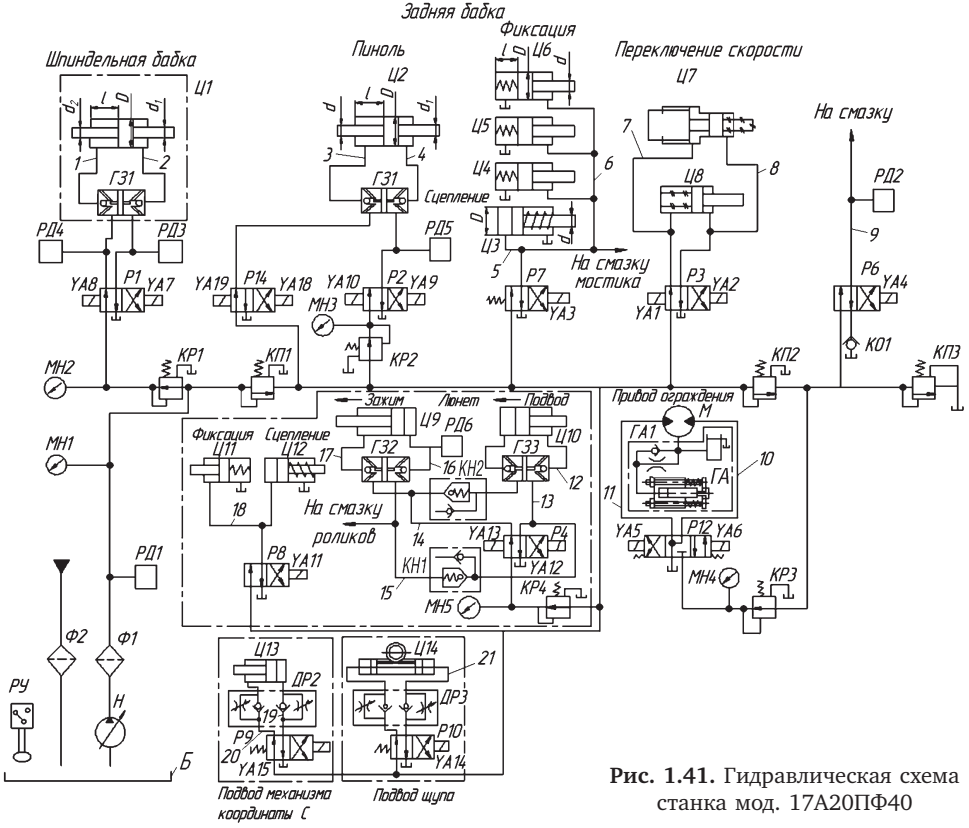


Рис. 1.41. Гидравлическая схема станка мод. 17А20ПФ40

Задняя бабка оснащена гидравлическим приводом выдвижения пиноли и закрепляется на переходном мостике, который перемещается с помощью продольной каретки верхнего суппорта. Раскрепление мостика на направляющих станины и его соединение с кареткой производятся с помощью соответствующих гидроцилиндров (рис. 1.41).

Станок оснащен контактным щупом *27* привязки инструмента, который при работе убирается за счет его поворота вокруг горизонтальной оси с помощью гидроцилиндра и передачи рейка—шестерня *28—26*. Привод полярной координаты (его конструкция приведена на рис. 1.35) получает вращение от регулируемого двигателя *1*, который передает вращение на шпиндель через зубчато-ременную передачу *31*, *2* и редуктор *30*, содержащий косозубую передачу с выборкой зазора (колеса *29*, *4*, *5*) и зубчатую передачу с колесами *3* и *7*. При работе вращающимся инструментом редуктор *30* поворачивается относительно неподвижной оси, и вводится в зацепление колесо *3* с колесом *7* на шпинделе. При токарной обработке редуктор отключается от шпинделя с помощью пружины.

Станок может оснащаться револьверными головками разных типов. Для установки только резцов может быть использована головка, конструкция которой представлена на рис. 1.30. В случае многоцелевого варианта применяется револьверная головка с вращающимся инструментом, конструкция которой представлена на рис. 1.38.

Спецификация гидросхемы (см. рис. 1.41)

Обозначение на схеме	Наименование
Б	Гидробак
Н	Насос
КП1, КП2, КП3	Клапан (напорный золотник)
Р1, Р2, Р3, Р6, Р7, Р12, Р14	Распределители с электромагнитным управлением
М	Гидромотор
КР1…КР3	Клапан редукционный
К01	Клапан обратный
ГЗ1	Гидрозамок
РД1…РД5	Реле давления
Ф1	Фильтр напорный
Ф2	Фильтр заливной
МН1…МН4	Манометр
РУ	Реле управления
КП3	Клапан предохранительный
Ц1	Гидроцилиндр зажима патрона
Ц2	Гидроцилиндр пиноли задней бабки
Ц3…Ц6	Гидроцилиндр фиксации задней бабки
Ц7	Гидроцилиндр натяжения ремней
Ц8	Гидроцилиндр переключения скоростей
ГА1	Гидроамортизатор
Гидропанель люнета	
Р4, Р8	Распределители с электромагнитным управлением
КР4	Клапан редукционный
ГЗ2, ГЗ3	Гидрозамок
РД6	Реле давления
МН5	Манометр
Ц9	Гидроцилиндр зажима люнета
Ц10	Гидроцилиндр подвода люнета
Ц11	Гидроцилиндр фиксации люнета
Ц12	Гидроцилиндр сцепления люнета
КН1, КН2	Клапан напорный
Гидропанель координаты С	
Р9	Распределитель с электромагнитным управлением
ДР2	Дроссель сдвоенный с обратным клапаном
Ц13	Цилиндр поворота редуктора координаты *С*
Гидропанель подвода щупа	
Р10	Распределитель с электромагнитным управлением
ДР3	Дроссель сдвоенный с обратным клапаном
Ц14	Цилиндр подвода щупа

Гидропривод станка обеспечивает: натяжение ремней шпинделя; переключение диапазонов частот коробки скоростей (в односуппортном исполнении); зажим и разжим патрона; перемещение пиноли задней бабки; расфиксацию мостика задней бабки; сцепление задней бабки с кареткой верхнего суппорта; расфиксацию люнета; подвод и зажим люнета; сцепление люнета с кареткой суппорта; поворот редуктора механизма координаты *С*; подвод измерительного щупа; централизованную смазку направляющих станины, кареток, мостика задней бабки, коробки скоростей, редуктора координаты *С*.

Гидростанция снабжена: заливным фильтром *Ф2* и реле контроля уровня *РУ*; насосом *Н*, асинхронным электродвигателем, напорным фильтром *Ф1* и реле давления *РД1* для аварийного отключения станка при падении давления в гидросистеме. Блокировка зажимных цилиндров осуществляется гидрозамками (обратными клапанами). Зажим патрона происходит при включенном электромагните *YA7*, при этом масло поступает в гидроцилиндр *Ц1* по магистрали *2* через гидрозамок гидроцилиндра; разжим патрона — при включенном электромагните *YA8*, при этом масло поступает по магистрали *1* через гидрозамок гидроцилиндра. Контроль зажима патрона осуществляется с помощью реле давления *РД3*; контроль разжима патрона — с помощью реле давления *РД4*. Усилие зажима патрона регулируется клапаном *КР1* и контролируется манометром *МН2*.

Подвод пиноли задней бабки происходит при включенных электромагнитах *YA9*, *УА18*. При этом масло в гидроцилиндр *Ц2* поступает по магистрали *4* через гидрозамок *Г31*. Для контроля подвода пиноли задней бабки служит реле давления *РД5*. Усилие прижима пиноли регулируется редукционным клапаном *КР2* и контролируется манометром *МН3*. Для отвода пиноли задней бабки включаются электромагниты *YA10*, *YA19*, при этом масло в гидроцилиндр *Ц2* поступает по магистрали *3* через гидрозамок *Г31*. Фиксация мостика задней бабки осуществляется от пружин гидроцилиндров *Ц4*, *Ц5*, *Ц6*, расцепление задней бабки от каретки — пружиной гидроцилиндра *Ц3* при отключенном электромагните *YA3*. Для расфиксации мостика задней бабки и сцепления ее с кареткой суппорта (при включенном электромагните *YA3*) в гидроцилиндры *Ц3, Ц4, Ц5, Ц6* подается масло по магистралям *5* и *6* и из магистрали *6* поступает к дозирующему клапану для смазки направляющих мостика задней бабки.

Подвод защитного ограждения происходит при включенном электромагните *YA5*, при этом масло в гидромотор *М* поступает по магистрали *11*; отвод защитного ограждения — при включенном электромагните *YA6*, при этом масло в гидромотор *М* поступает по магистрали *10*. Замедление перемещения ограждения происходит при его наезде на гидроамортизатор *ГА1*. Для переключения диапазонов скоростей служит распределитель *Р3* с электромагнитами *YA1* и *YA2*. В зависимости от их включения масло поступает к цилиндрам *Ц7* (переключение диапазонов) и *Ц8* (механизм натяжения ремня) по магистралям *7* и *8*.

Подвод люнета осуществляется гидроцилиндром *Ц10* при включенном электромагните *YA12* и подаче масла по магистралям *13* и *12* через гидрозамок *Г33*. По окончании подвода давление в магистрали *13* возрастает, и масло через напорный клапан *КН1* и гидрозамок *Г32* по магистралям *15*, *16* поступает в гидроцилиндр зажима *Ц9* и на смазку роликов люнета. Для контроля зажима люнета предусмотрено реле давления *РД6*. Усилие зажима люнета настраивается редук-

ционным клапаном *КР4*. Контроль регулирования редукционного клапана *КР4* производят по манометру *МН5*. Разжим и отвод люнета будут происходить при включенном электромагните *YA13*. При этом масло по магистралям *14*, *17* через гидрозамок *ГЗ2* поступает в гидроцилиндр *Ц9*. После разжима люнета давление в магистрали *14* возрастает, и масло через напорный клапан *КН2* и гидрозамок *ГЗ3* поступает в гидроцилиндр *Ц10*, происходит отвод люнета. Расфиксацию и сцепление люнета с кареткой осуществляют при включенном электромагните *YA11*. При этом масло в гидроцилиндры *Ц11, Ц12* поступает по магистрали *18*. Для фиксации и расцепления люнета предусмотрены пружины.

Подвод механизма полярной координаты *С* осуществляется при включенном электромагните *YA15* и подаче масла по магистрали *19* через дроссель *ДР2* в гидроцилиндр *Ц13*. Отвод механизма полярной координаты *С* осуществляется при отключенном электромагните *YA15*. При этом масло в цилиндр поступает по магистрали *20* через дроссель *ДР2*. Для подвода щупа включается электромагнит *YA14,* и масло по магистрали *21* через дроссель *ДР3* поступает в гидроцилиндр *Ц14*. При отключенном электромагните *YA14* масло в гидроцилиндр *Ц14* поступает через дроссель *ДР3*.

Подача смазки осуществляется по командам системы ЧПУ при включенном электромагните *YA4* гидрораспределителем *Р6*. Электромагнит *YA4* включается на 5 с при каждом включении системы ЧПУ, а также через заданный интервал времени смазки. При этом масло по магистрали *9* поступает к питателям и вытесняет из них определенные дозы масла к точкам смазки. Для контроля работы системы смазки предусмотрено реле давления *РД2*.

Технологические возможности станка. При наличии револьверных головок могут иметь место ограничения по размерам обрабатываемых заготовок. На рис. 1.42 приведена схема обработки заготовки с помощью 12-позиционной головки верхнего суппорта. Подрезным резцом можно обрабатывать торец заготовки диаметром 250 мм до диаметра 100 мм (поз. *1*) или обработать торец заготовки полностью (поз. *3*) (только при наличии на соседних позициях резцедержателей для радиального инструмента). Если на следующей позиции стоит

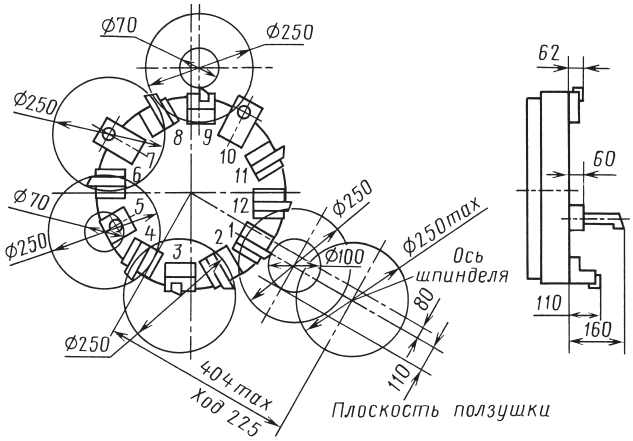


Рис. 1.42. Технологические возможности станка с 12-позиционной револьверной головкой

блок с осевым инструментом, можно подрезать торец детали диаметром 250 мм до диаметра 70 мм (поз. *9*). При работе центровым инструментом, установленным в осевом блоке, можно в заготовке диаметром 250 мм расточить отверстие диаметром от 70 мм и выше (поз. *5*) (только при наличии на соседних позициях резцедержателей для радиальных инструментов). В зависимости от инструмента, установленного в осевом блоке со смещением, можно просверлить центровое отверстие в заготовке диаметром 250 мм либо расточить в ней отверстие (поз. *7*) (только при наличии на соседних позициях резцедержателей для радиального инструмента). При разработке наладок на станок в каждом конкретном случае необходимо прочерчивать все положения узлов, характеризующие взаимодействие инструментов и головки с патроном и деталью для исключения их столкновений.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Токарно-револьверные станки

2.1. Общие сведения

Токарно-револьверные станки предназначены для изготовления деталей из прутка или штучных заготовок, представляющих собой тела вращения сложной конфигурации, с применением разнообразных токарных, сверлильных, расточных, резьбонарезных и других инструментов. Основной особенностью револьверных станков является наличие продольного суппорта, несущего многопозиционную револьверную головку, в которой закрепляют различный инструмент в необходимой по технологическому процессу последовательности обработки. Однако ввиду меньшей, чем у токарных станков, универсальности, коробки скоростей и подач имеют меньшие диапазоны регулирования; привод подачи конструктивно проще, так как не предусматривается нарезание резьбы резцом. По этой же причине отсутствует и ходовой винт с механизмами его включения.

Токарно-револьверные станки имеют более высокую производительность по сравнению с токарными за счет сокращения как машинного времени (применение многоинструментальных державок, совмещение обработки инструментами револьверной головки и поперечного суппорта), так и вспомогательного (уменьшение времени на смену заранее настроенного на размер инструмента, применение быстродействующих автоматических механизмов подачи и зажима прутка, обработка деталей по принципу автоматического получения размеров за счет использования продольных и поперечных упоров, автоматизация переключения режимов обработки для всех переходов). Наиболее эффективно применение станков в мелкосерийном и серийном производстве.

По виду обрабатываемой заготовки различают револьверные станки для прутковой или патронной работы, но большая часть станков приспособлена для выполнения обоих видов работ. Наибольший диаметр обрабатываемого прутка и наибольший диаметр обрабатываемой (над станиной и над суппортом) заготовки являются их основными размерами. В зависимости от диаметра обрабатываемого прутка различают три типоразмера станков: малые (прутки диаметром до 25 мм), средние (прутки диаметром до 40 мм) и крупные (прутки диаметром свыше 40 мм).

Технические характеристики токарно-револьверных станков мод. 1Д325П и 1Е365П приведены в табл. 2.1.

Типовые детали, обрабатываемые из штучных заготовок на станках среднего размера, показаны на рис. 2.1.

2.1. Технические характеристики токарно-револьверных станков

Параметр	1Д325П	1Е365П
Диаметр обрабатываемого прутка, мм, не более	25	65
Диаметр заготовки, мм, не более:		
обрабатываемой в патроне	120	280
устанавливаемой над станиной	320	500
Число частот вращения шпинделя	24	13
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$	71…3150	34…1500
Мощность привода главного движения, кВт	3,2/5,3	15
Число суппортов	1	2
Диапазон подач револьверного суппорта, мм/об:		
продольных	0,04…0,5	0,09…2,7
поперечных	—	0,045…1,350
Диапазон круговых подач револьверного суппорта, мм/об	0,028	—
Точность обработки, квалитет	7…8	8…9

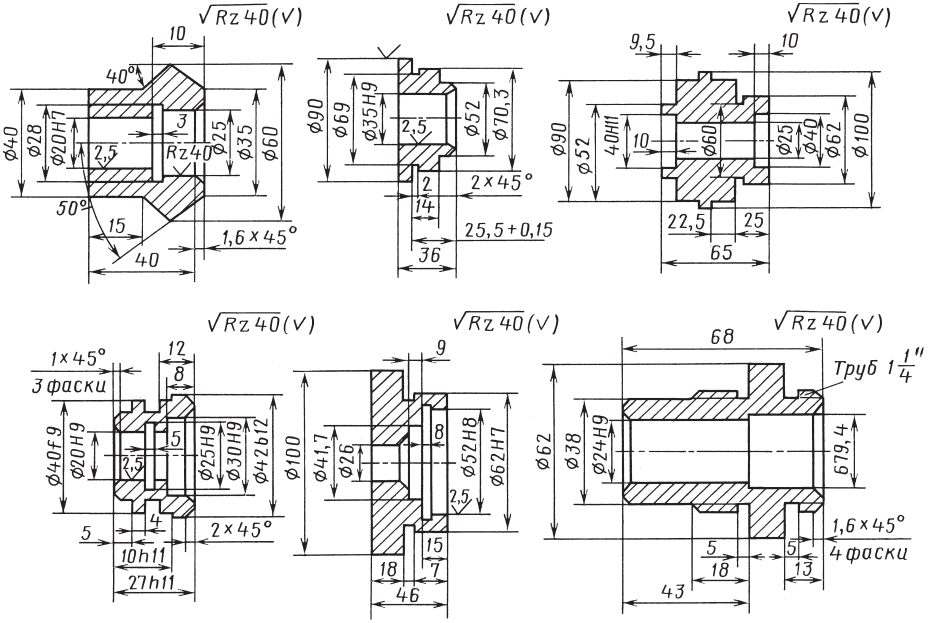


Рис. 2.1. Типовые детали, получаемые на станках из стальных штучных заготовок

В зависимости от расположения оси поворота револьверной головки различают станки: с вертикальной осью револьверной головки (рис. 2.2, *а*); с горизонтальной осью револьверной головки, параллельной оси шпинделя (рис. 2.2, *б*), реже — с осью, перпендикулярной оси шпинделя, или наклонной осью револьверной головки. Главным движением V является вращение шпинделя, несущего заготовку; движениями подачи — продольное S_1 и поперечное S_2 перемещения

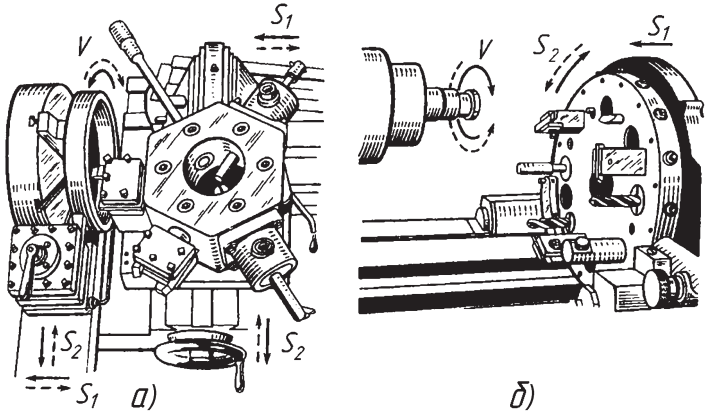


Рис. 2.2. Движения в револьверных станках:
а — с вертикальной осью поворота револьверной головки; *б* — с горизонтальной осью поворота револьверной головки

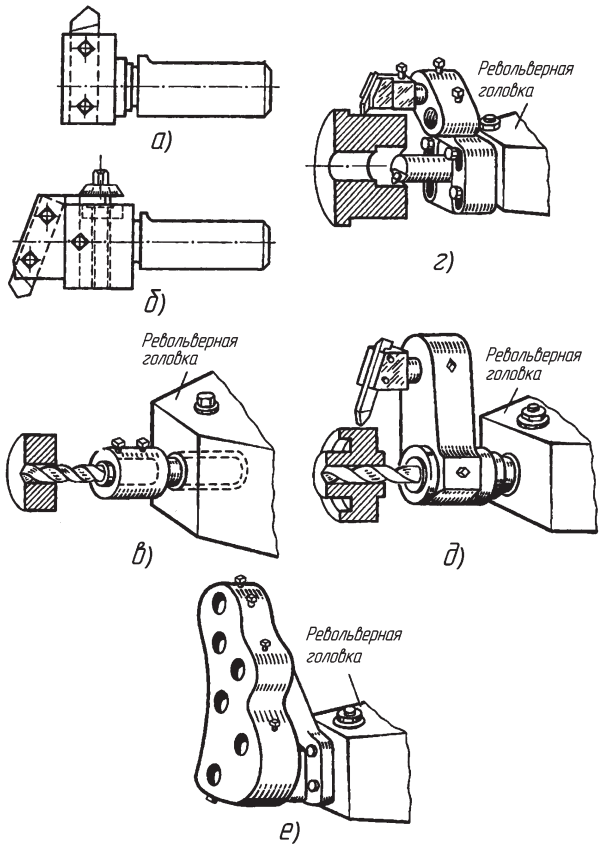


Рис. 2.3. Державки к токарно-револьверным станкам:
а—в — одноместные державки; *г, д* — комбинированные державки; *е* — многоместная державка

суппортов с инструментом, причем поперечная подача S_2 револьверной головки осуществляется или перемещением поперечных салазок (рис. 2.2, *а*), или ее медленным поворотом (рис. 2.2, *б*). В последнем случае поперечный суппорт, как правило, отсутствует.

Заготовка (пруток) зажимается автоматически в цанговых патронах с механическим, пневматическим или чаще гидравлическим приводом; штучная отливка или поковка закрепляется в универсальных кулачковых патронах с ручным или автоматизированным приводом.

Для обработки заготовок на револьверных станках в зависимости от серийности производства применяется как нормальный, так и специальный и комбинированный инструмент, который закрепляют на поперечном суппорте и в гнездах револьверной головки с помощью различных приспособлений: державок, втулок, патронов. На рис. 2.3 показаны различные типы нормализованных универсальных одноместных (*а, б, в*) и комбинированных (*г, д*) державок; на рис. 2.3, *е* приведен кронштейн специальной многоинструментальной державки с гнездами для переходных втулок.

2.2. Токарно-револьверный станок мод. 1Г340

Высокопроизводительный универсальный станок мод. 1Г340 (табл. 2.2) с горизонтальной осью 16-позиционной револьверной головки предназначен для выполнения токарных и сверлильных работ в среднесерийном производстве. Нарезание резьб возможно метчиками, плашками, а также резцами или гребенками с помощью резьбонарезного устройства. Дополнительное копировальное устройство позволяет обрабатывать конические и фасонные поверхности. По требованию заказчика может оснащаться поперечным суппортом. Станок выпускается в двух исполнениях: для прутковых работ или для штучных заготовок.

Основные узлы станка (рис. 2.4). Заготовка, совершающая вращательное движение, закрепляется в цанге или патроне *2* шпиндельной бабки *1*, на перед-

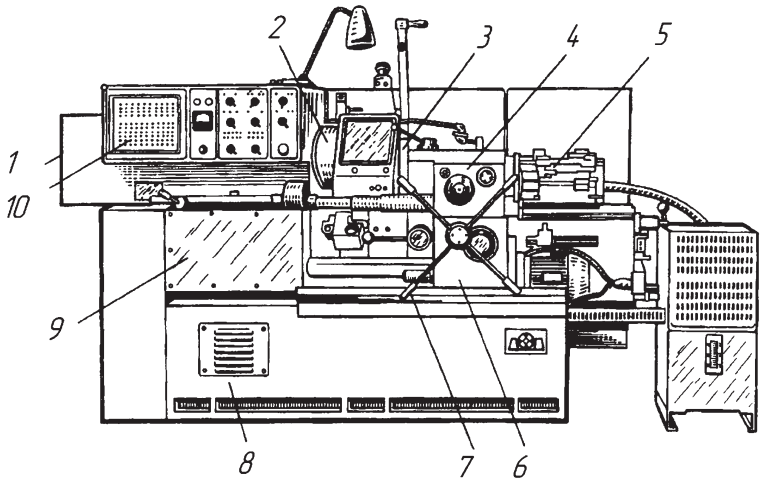


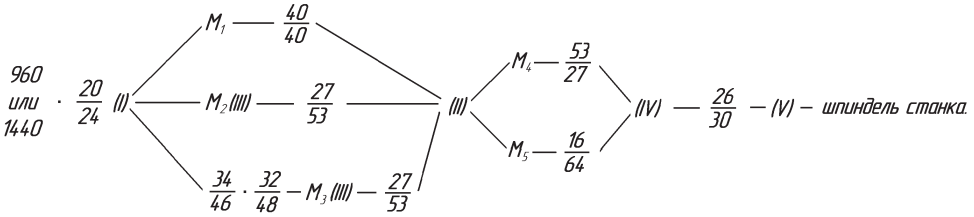
Рис. 2.4. Общий вид станка мод. 1Г340

2.2. Технические характеристики станка мод. 1Г340

Диаметр обрабатываемого прутка, мм, не более:	
с подающей цангой	40
без подающей цанги	55
Диаметр заготовки, мм, не более:	
устанавливаемой над станиной	400
обрабатываемой в патроне	200
Частота вращения шпинделя (прутковое исполнение), мин$^{-1}$	45…2000
Число частот вращения шпинделя	12
Подачи револьверного суппорта, мм/об:	
продольные	0,035…1,6
поперечные	0,02…0, 8
Число подач (продольных и поперечных)	12
Мощность главного привода, кВт	6/6,2
Точность обработки:	
по диаметру, квалитет	7…8
по длине, мм	0, 08…0, 12
Шероховатость поверхности после чистовой обработки *Rz*, мкм	2,5
Габариты станка, мм:	
длина	2800
ширина	1200
высота	1400

ней стенке которой размещена панель управления *10*. Револьверная головка *3* расположена на суппорте *4*, получающем продольное перемещение по направляющим станины *8* с помощью неподвижного фартука *6*. Ручное продольное перемещение осуществляется от рукоятки *7*, автоматическое — от коробки подач *9*. Выключение автоматической продольной подачи достигается с помощью передвижных упоров, устанавливаемых на барабане управления *5*. Поперечная (круговая) подача осуществляется медленным поворотом револьверной головки автоматически от коробки подач или вручную — маховичком на суппорте.

Кинематическая схема (рис. 2.5). *Привод вращения шпинделя* (главное движение) осуществляется от электродвигателя *M* через две зубчато-ременные передачи и автоматическую коробку скоростей (АКС) с электромагнитными муфтами (унифицированная коробка модели АКС 206-32-31). Каждая из 12 прямых скоростей вращения получается при различных включениях муфт M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 и 2-скоростного двигателя по следующей цепи:



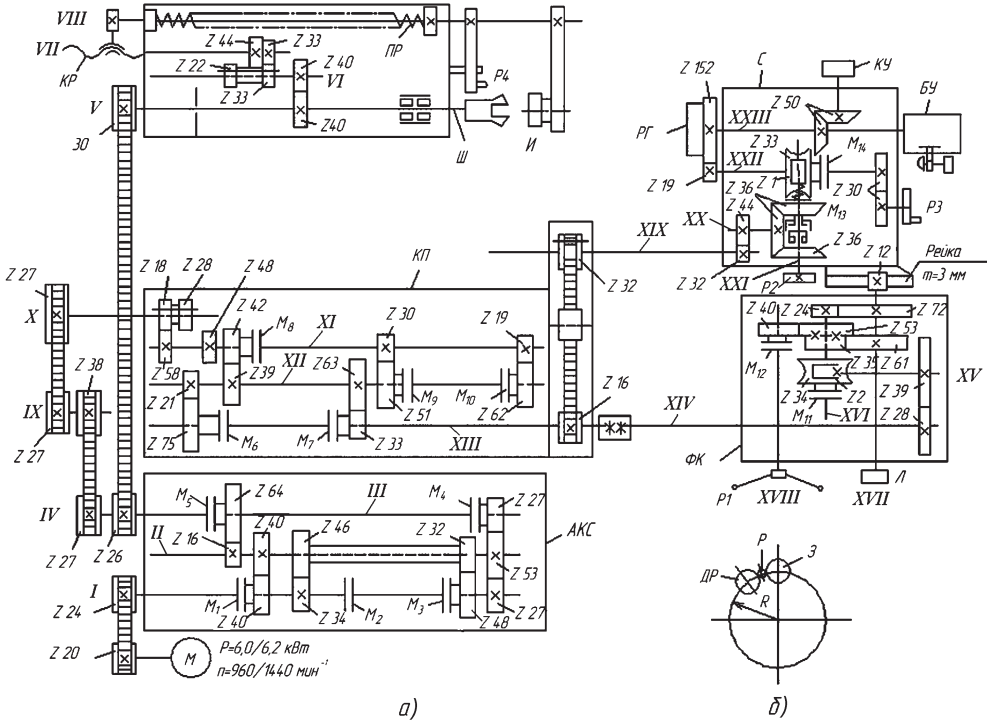


Рис. 2.5. Кинематическая схема станка мод. 1Г340 (*а*) и схема круговой подачи (*б*)

Торможение привода производят одновременным включением электромагнитных муфт M_4 и M_5, реверсирование — двигателем M.

Привод подачи осуществляется от шпинделя (вал V) через три зубчато-ременные передачи и коробку подач $КП$ с электромагнитными муфтами M_6, M_7, M_8, M_9, M_{10} и двойным блоком зубчатых колес по цепи:

$$(V)-\frac{30}{26}(IV)-\frac{27}{38}(IX)-\frac{27}{27}(X)\left\langle\begin{matrix}\frac{18}{58}\\ \frac{28}{48}\end{matrix}\right.(XI)\left\langle\begin{matrix}M_8-\frac{42}{39}\\ M_9-\frac{30}{51}\\ M_{10}-\frac{19}{62}\end{matrix}\right.(XII)\left\langle\begin{matrix}M_6-\frac{21}{75}\\ M_7-\frac{63}{33}\end{matrix}\right.(XIII)$$

Коробка подач позволяет получать по шесть автоматических подач в двух диапазонах (всего 12 подач). Для получения продольной подачи движение от вала *XIII* передается через неподвижный фартук *ФК* на вал-шестерню с $Z = 12$ и рейку $m = 3$ мм, закрепленную на салазках револьверного суппорта *С* по цепи:

$$(XIII)-(XIV)-\frac{28}{39}(XV)-M_{11}\ 2/34\ (XVI)-\frac{24}{72}(XVII)-\text{зубчато-реечная передача}$$

Ручное продольное перемещение суппорта осуществляется от рукоятки *Р1* (вал *XVIII*) через включенную муфту M_{12}, при этом муфта M_{11} выключена (переключение муфт M_{11} и M_{12} сблокировано), зубчатые передачи 40/53 и 35/61 и

зубчато-реечную передачу. Величина продольного перемещения отсчитывается по лимбу *Л* на валу *XVII*. Для получения автоматической поперечной (круговой) подачи движение передается от вала *XIII* через зубчато-ременную передачу и далее через скользящий (перемещающийся с револьверным суппортом) вал *XIX* на револьверную головку *РГ* по цепи:

$$(XIII)-\frac{16}{32}(XIX)-\frac{32}{44}(XXI)-M_{13}-\frac{36}{36}(XXII)-M_{14}-\frac{1}{33}(XXIII)-\frac{19}{152}$$

При этом державка *ДР* с резцом *Р* поворачивается относительно заготовки *З* по дуге радиусом $R = 100$ мм (см. рис. 2.5, *б*). Муфта M_{13} реверсирует круговое движение подачи. Ручное поперечное движение подачи осуществляется от маховичка *Р2* (электромагнитная муфта M_{14} включена). Ручной поворот револьверной головки при смене позиций осуществляется от маховичка *Р3* при включенной муфте M_{14}. Для нарезания наружных или внутренних резьб резцами или гребенками применяется резьбонарезное устройство. Инструмент *И* закрепляется в державке, связанной с поворотной штангой (вал *VIII*), которая устанавливается в требуемое положение рукояткой *Р4*. При этом инструмент подводится к заготовке, а резьбовая губка на левом конце штанги вводится в зацепление с резьбовым копиром *КР* (на валу *VII*); копир и губка — сменные. При вращении копира от шпинделя через передачи 40/40 и двойной блок (передачи 33/33 или 22/44) нарезают резьбы с шагом либо равным шагу копира, либо вдвое меньшим.

Частоту вращения шпинделя и подачу можно изменять вручную с помощью переключателей на пульте управления либо переключать автоматически при смене позиции револьверной головки. Для этого револьверная головка через коническую передачу 50/50 связана с коллектором управления *КУ*, кулачки которого с помощью конечных выключателей переключают заранее запрограммированные на штекерной панели управления соответствующие электрические цепи питания электромагнитных муфт коробки скоростей и коробки подач.

Автоматическое выключение продольной подачи в каждой позиции осуществляется упорами, установленными на барабане управления (*БУ)*. Для выключения поперечной подачи предусмотрена установка упоров на внешнем торце револьверной головки (см. ниже описание конструкции).

Конструкция основных узлов станка. *Шпиндельная бабка* (рис. 2.6). Шпиндель получает вращение от шкива *1* зубчато-ременной передачи. Для восприятия радиальных нагрузок в передней опоре установлен двухрядный роликоподшипник *6*, в задней — радиально-упорный шариковый подшипник *3*. Для восприятия осевых нагрузок служат: влево — упорный подшипник *5*, вправо — радиально-упорный *3*. Зажим-разжим прутка осуществляется при движении поршня *2* в гидроцилиндре, выполненном в шкиве *1*. При этом с помощью трубы *4* перемещается относительно конусной расточки неподвижного патрона *8* зажимная цанговая втулка *7*.

При движении поршня влево цанговая втулка сжимает неподвижную цангу *9* со сменными вкладышами *10* и происходит зажим прутка. При движении поршня вправо пруток разжимается. Подача прутка осуществляется с помощью гидроцилиндра *15*. Вначале подающая цанга *11* с помощью трубы *12*, проскаль-

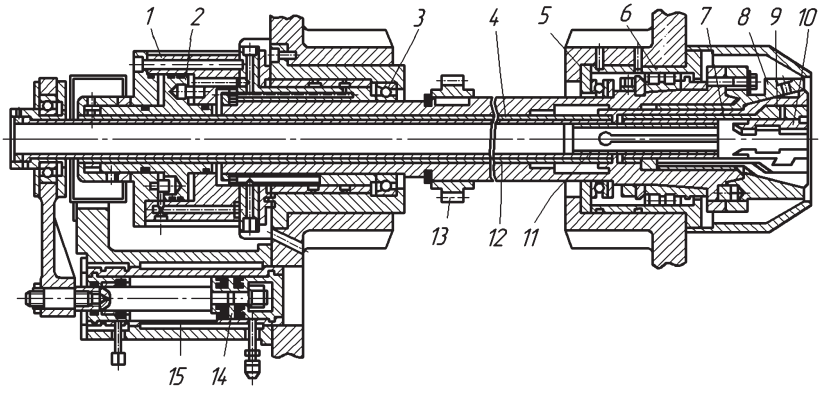


Рис. 2.6. Шпиндельная бабка станка мод. 1Г340

зывая относительно зажатого прутка, смещается поршнем *14* влево. После разжима цанги *9* поршень *14* перемещает подающую цангу с увлекаемым ее прутком (за счет пружинящих лепестков цанга плотно охватывает пруток) до упора, установленного в гнезде револьверной головки. Требуемая по циклу последовательность работы цилиндров подачи и зажима прутка обеспечивается гидроприводом. На шпинделе закрепляется также шестерня *13* привода резьбонарезного устройства.

Револьверный суппорт (рис. 2.7). Суппорт обеспечивает автоматические и ручные продольные и круговые (поперечные) подачи инструмента (рис. 2.7, *а*), закрепленного с помощью винтов *4* в отверстиях *12* сменной револьверной головки *11*. Револьверная головка базируется по конусу и торцу на зубчатом венце *5*, жестко зафиксированном на валу *13*, который вращается в двух радиально-упорных подшипниках. На валу *13* установлены барабан *8* с жесткими упорами *9* и зубчатое колесо *10* для привода коллектора управления режимами резания. Суппорт перемещается с помощью рейки *2* по двум замкнутым призматическим направляющим с нижними планками *1* и *3*. Маховичок *18* (рис. 2.7, *б*) через колеса *19* и *17* и приводную вал-шестерню *14* вращает зубчатый венец *5* револьверной головки при смене позиций; при этом электромагнитная муфта *16* включена. Револьверная головка фиксируется в каждой из 16 позиций (рис. 2.7, *в*) фиксатором *20*, западающим в гнезда на зубчатом венце *5*. Управление положением фиксатора осуществляется с помощью рукоятки *22* и пружины *21*.

При автоматической (круговой) подаче (рис. 2.7, *г*) вращение передается от коробки подач (см. кинематическую схему, рис. 2.5) через скользящий валик *23*, зубчатые колеса *24* и *25*, коническую передачу *26*, *34* или *26*, *37*, зубчатую муфту *35* выбора направления вращения (реверс подачи) на вал *36*. Далее вращение через червяк *31* и червячное колесо *15* (рис. 2.7, *б*) при включенной муфте *16* передается на вал-шестерню *14* и зубчатый венец *5* револьверной головки.

Поперечная подача ограничивается с помощью жесткого выдвижного упора *39* (рис. 2.7, *д*), корпус *40* которого закреплен на суппорте. На торце револьверной головки (рис. 2.7, *д*) закреплен кронштейн *41*, в который завинчен упорный винт *42* с контргайкой *43*. Когда револьверная головка доходит до жесткого упора, вращение червячного колеса *15* прекращается, а червяк *31* (рис. 2.7, *г*), про-

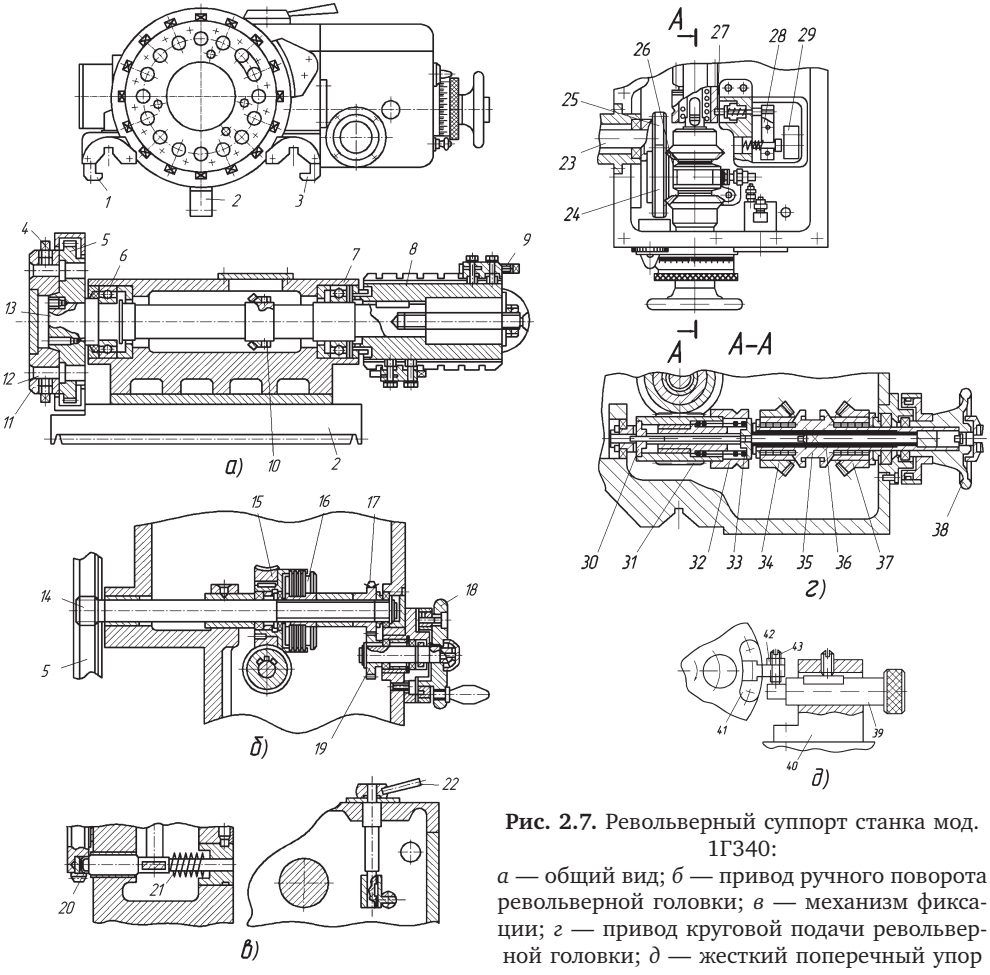
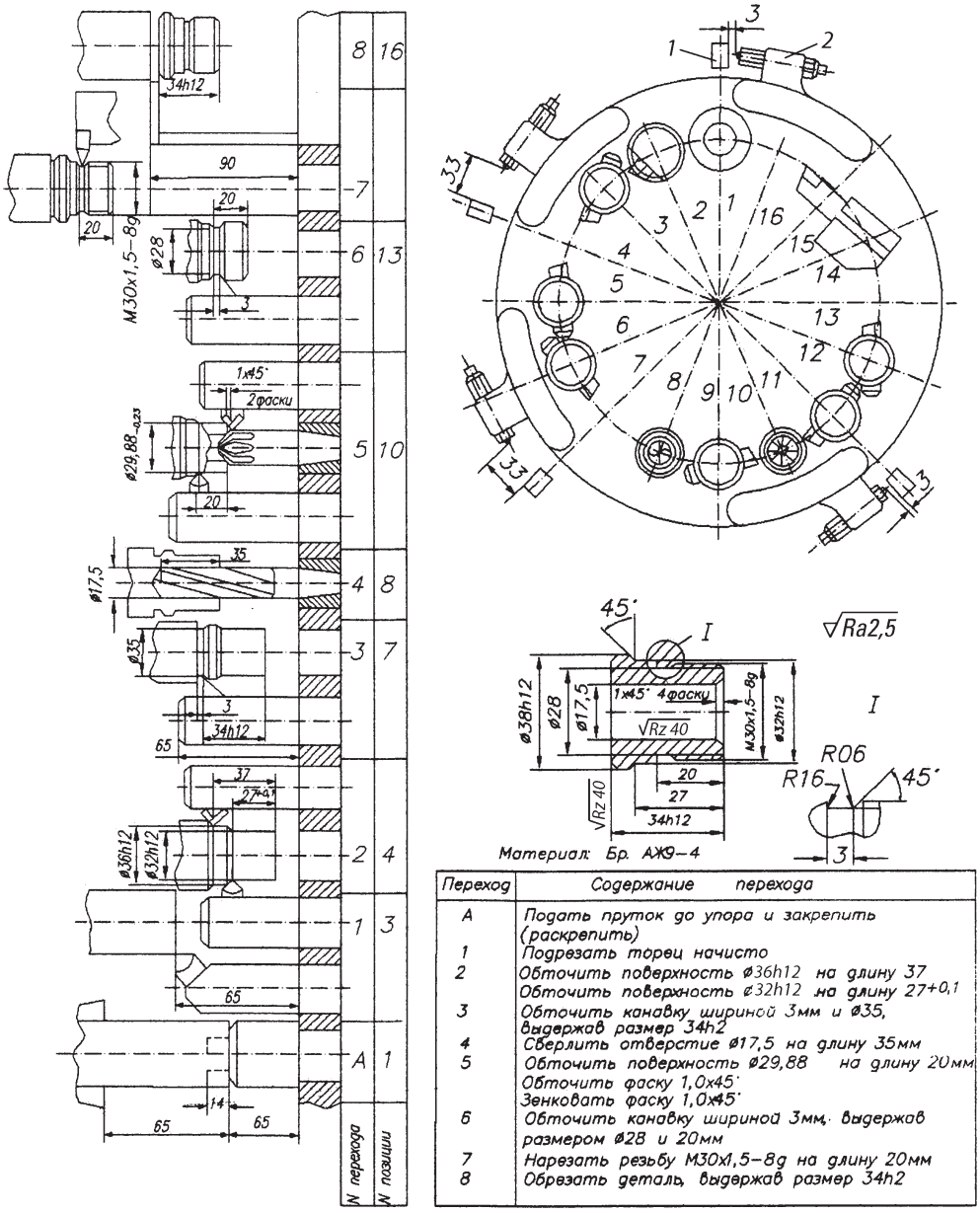


Рис. 2.7. Револьверный суппорт станка мод. 1Г340:
а — общий вид; *б* — привод ручного поворота револьверной головки; *в* — механизм фиксации; *г* — привод круговой подачи револьверной головки; *д* — жесткий поперечный упор

должающий вращаться, вывинчивается из него. Перемещаясь вправо по шлицевому валу *36*, червяк сжимает пружину *33*, усилие которой регулируется гайкой *30*. При этом втулка-кулачок *32* воздействует на толкатель *27* и через рычажную систему *28* нажимает на конечный выключатель *29*, отключающий электромагнитную муфту *16* (рис. 2.7, *б*) и автоматическую поперечную подачу. Ручная (круговая) подача осуществляется от маховичка *38* при нейтральном положении зубчатой муфты *35* и включенной муфте *16*.

Обработка центровыми инструментами (сверлами, зенкерами, развертками, метчиками, плашками) осуществляется при зафиксированной револьверной головке, а обработка резцами — как при зафиксированной (продольная обточка), так и расфиксированной (поперечная обточка) револьверной головке, когда требуемое положение определяется жестким поперечным упором.

С помощью копировальной линейки, жестко связанной со станиной, и упорного ролика, закрепленного на торце револьверной головки, при расфиксированной головке можно обрабатывать конические и фасонные поверхности. В этом



Переход	Содержание перехода
А	Подать пруток до упора и закрепить (раскрепить)
1	Подрезать торец начисто
2	Обточить поверхность ø36h12 на длину 37 Обточить поверхность ø32h12 на длину 27+0,1
3	Обточить канавку шириной 3мм и ø35, выдержав размер 34h2
4	Сверлить отверстие ø17,5 на длину 35мм
5	Обточить поверхность ø29,88 на длину 20мм Обточить фаску 1,0х45° Зенковать фаску 1,0х45°
6	Обточить канавку шириной 3мм, выдержав размером ø28 и 20мм
7	Нарезать резьбу М30х1,5–8g на длину 20мм
8	Обрезать деталь, выдержав размер 34h2

Рис. 2.8. Карта наладки станка мод. 1Г340

случае при включенной продольной подаче револьверная головка поворачивается от упорного ролика, скользящего по поверхности копирной линейки.

На рис. 2.8 приведена карта наладки станка. Для сокращения времени переналадки широко применяется групповая технология обработки заготовок, резко сокращающая также номенклатуру и число применяемой оснастки.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Токарные автоматы и полуавтоматы (кулачковые)

3.1. Общие сведения

Кулачковые автоматы и полуавтоматы предназначены для изготовления деталей сложной конфигурации с использованием нескольких (многих) инструментов в крупносерийном и массовом производстве.

Токарные автоматы и полуавтоматы подразделяют по:

- назначению — на универсальные и специальные;
- числу шпинделей — на одношпиндельные и многошпиндельные;
- расположению шпинделей — на горизонтальные и вертикальные;
- виду обрабатываемой заготовки — на прутковые и патронные.

Одношпиндельные автоматы подразделяют по способу обработки на:

- фасонно-отрезные;
- продольного точения;
- токарно-револьверные.

Многошпиндельные полуавтоматы подразделяют по принципу обработки на полуавтоматы параллельного и последовательного действия.

Управление циклом работы кулачковых автоматов и полуавтоматов осуществляется одним из следующих трех способов:

- рабочие и холостые ходы выполняются от распределительного вала, равномерно вращающегося в течение всего цикла обработки со скоростью, определяемой условиями рабочих ходов. Этот способ широко применяется в автоматах фасонно-отрезных и продольного точения;
- распределительный вал в цикле имеет две скорости вращения: медленную — для рабочих ходов и ускоренную — для холостых ходов. Такой способ применяется в многошпиндельных автоматах и полуавтоматах;
- кроме распределительного вала, управляющего рабочими ходами и частью холостых ходов, автомат имеет быстровращающийся вспомогательный вал, осуществляющий остальные холостые ходы. Частота вращения вспомогательного вала при переналадке автомата не регулируется; такой способ управления циклом применяется в токарно-револьверных автоматах.

Для расширения технологических возможностей токарные автоматы и полуавтоматы оснащают дополнительными устройствами, выполняющими операции фрезерования, сверления отверстий малого диаметра и др.

3.2. Фасонно-отрезные автоматы

Фасонно-отрезные автоматы применяются для обработки сравнительно простых деталей небольшой длины в массовом и крупносерийном производстве. Схема работы такого автомата показана на рис. 3.1.

Заготовка закрепляется во вращающемся шпинделе *1* с помощью цангового патрона. Станок имеет два—четыре суппорта *2*, перемещающихся только в поперечном направлении и несущих фасонные и отрезные резцы.

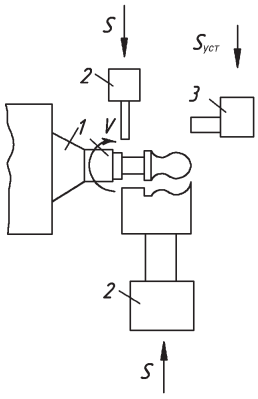


Рис. 3.1. Схема работы пруткового фасонно-отрезного автомата

Для получения детали заданной длины станок снабжен подвижным упором *3*, автоматически устанавливающимся по оси шпинделя после окончания цикла. Материал подается с помощью механизма подачи до соприкосновения с упором. Обработка заготовок ведется из труб и прутков круглого, квадратного и шестигранного сечений, а при применении магазинной загрузки — из штучных заготовок. Наиболее распространены фасонно-отрезные автоматы с максимальным диаметром прутка 16, 25 и 40 мм. Основные технические характеристики автоматов мод. 11Ф16, 11Ф25 и 11Ф40 приведены в табл. 3.1.

Конструктивно фасонно-отрезные автоматы незначительно отличаются друг от друга (рис. 3.2). Шпиндельная бабка *5* и поперечные суппорты *4* смонтированы на станине *2*, установленной на массивном основании *1*, в котором расположены электродвигатель *6*, редуктор, электрошкаф, баки охлаждения и смазки. Все подвижные узлы автоматов закрыты съемными или откидными кожухами *3*. На автоматах мод. 11Ф25 и 11Ф40 передний поперечный суппорт выполнен крестовым, что позволяет производить продольную обточку заготовок. Кроме того, они имеют продольный суппорт, на котором устанавливаются головка для крепления центрового инструмента или резцы для продольной обточки, обработки торцов и фасок.

На фасонно-отрезных автоматах малого типоразмера (мод. 1106, 1Б023 и др.) в качестве исходного материала используется не пруток, а проволока, свернутая в бунт. Проволока во время обработки не вращается и имеет только периодическое продольное перемещение в момент ее подачи вперед для обработки следующей заготовки. Схема работы такого автомата показана на рис. 3.3. Заготовка обрабатывается вращающейся головкой с резцами, перемещающимися в поперечном направлении с независимой друг от друга подачей. Подача проволоки *5* на необходимую длину осуществляется перемещением салазок *7* с

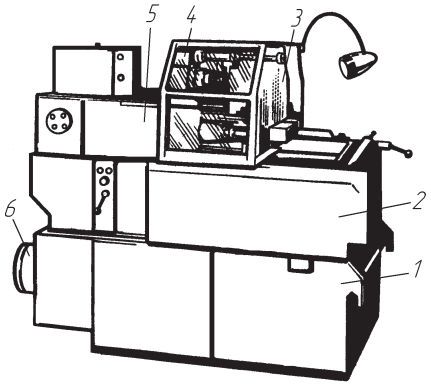


Рис. 3.2. Общий вид фасонно-отрезного автомата

3.1. Технические характеристики прутковых фасонно-отрезных и токарно-револьверных автоматов

Параметр	Мод. 11Ф16	Мод. 11Ф25	Мод. 11Ф40	Мод. 1Е110; 1Е110П	Мод. 1Е125; 1Е125П	Мод. 1Е140П	Мод. 1Е165; 1Е165П
Диаметр обрабатываемого прутка, мм, не более	16	25	40	10	25	40	65
Длина подачи прутка за одно включение, мм, не более	70	110	110	70	110	115	125
Размер нарезаемой резьбы (плашкой), не более	М12×1,75	М12×1,75	М18×2,5	М10×1,5	М18×2,5	М24×3	М30×3,5
Диаметр револьверной головки, мм	—	—	—	125	160	160	200
Число суппортов (кроме револьверного)	3	4	4	4	5	5	5
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$: левого вращения правого вращения	 180…3550 180…1800	 200…4000 200…2000	 125…2500 125…1250	 112…5000 56…630	 125…4000 63…500	 80…2500 40…315	 40…1600 20…250
Время одного оборота распределительного вала, с	2,6…261	3…465	3…465	2,7…302	6,1…602	6,1…602	8…791
Мощность главного привода, кВт	3,0	4,0	5,5	2,2	4,0	5,5	7,5
Масса, кг	970	1760	1790	1330	2200	2500	2855

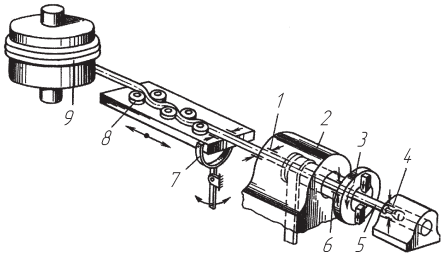


Рис. 3.3. Схема работы пруткового фасонно-отрезного автомата при изготовлении деталей из проволоки

механизмами подачи и правки, при этом из переднего зажима *4* выталкивается ранее обработанная деталь. После подачи проволока зажимается в трех местах: передним *4* и средним *6* зажимами, расположенными по обеим сторонам от вращающейся резцовой головки *3*, и задним зажимом *1*, расположенным в шпиндельной бабке *2*. При отходе салазок *7* назад часть проволоки, смотанная из бунта *9* при ее подаче и подлежащая последующей обработке, правится роликами *8*. Задний зажим удерживает проволоку от сдвига при ее правке.

Схема обработки заготовки на таком автомате показана на рис. 3.4. После отрезки готовой детали резцы вращающейся головки отходят в исходное положение, зажимные устройства разжимаются и проволока подается вперед, выталкивая готовую деталь (рис. 3.4, *а*). Затем проволока зажимается, к ней быстро подходят резцы *1*, производящие обточку диаметра 2,5 мм и обточку фаски, и резец *2*, осуществляющий подрезку торца, отрезку детали и обточку конуса (рис. 3.4, *б*). Типовые детали, изготавливаемые на таких автоматах, показаны на рис. 3.5.

Кинематические схемы фасонно-отрезных автоматов разных моделей не имеют принципиальных отличий друг от друга (рис. 3.6). Они состоят из двух основных цепей: главного движения — привода вращения резцовой головки *10* (или шпинделя с прутком в прутковых автоматах) и привода вращения распределительного вала *V*. Резцовая головка *10* приводится во вращение от электродвигателя *M* через плоскоременную передачу со сменным шкивом и шкивом ∅110. Распределительный вал *V* получает вращение через предохранительную зубчатую муфту *1*, цилиндрическую зубчатую передачу 25/52, коническую зубчатую передачу 26/40, сменные зубчатые колеса *a* и *b* гитары подач, червячную передачу 2/45.

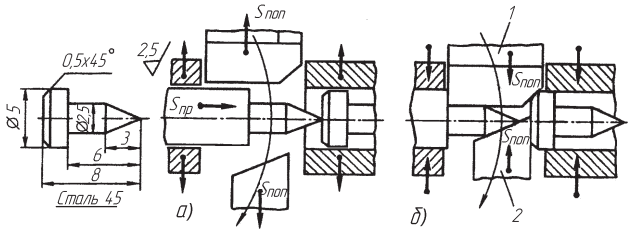


Рис. 3.4. Схема обработки заготовки на фасонно-отрезном автомате: *а* — разжим и подача проволоки; *б* — зажим и обработка заготовки

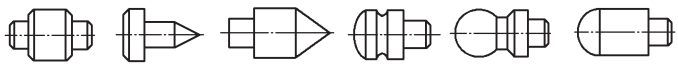


Рис. 3.5. Типовые детали, обрабатываемые на фасонно-отрезном автомате

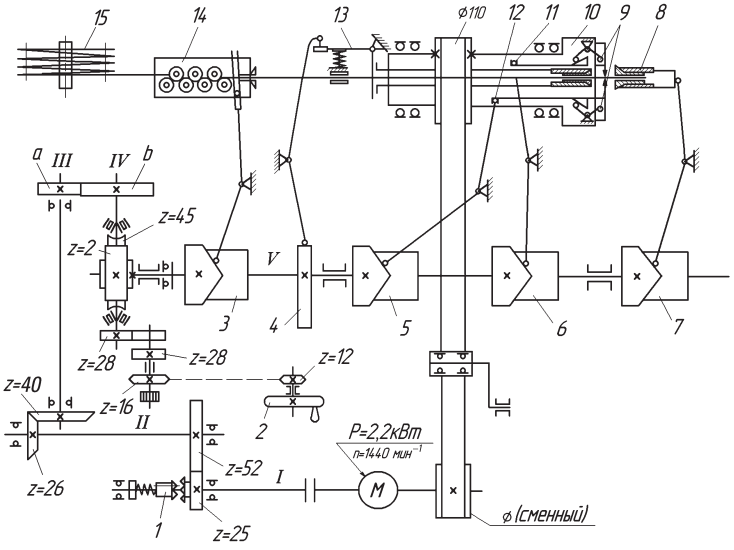


Рис. 3.6. Кинематическая схема фасонно-отрезного автомата мод. 1106

На распределительном валу *V* установлены: кулачок *3* механизма *14* подачи и правки материала из бунта *15*, кулачок *4* механизма *13* заднего и среднего зажимов материала, кулачки *5* и *6* механизмов *12* и *11* подачи поперечных суппортов *9* на резцовой головке *10* и кулачок *7* механизма *8* переднего зажима обрабатываемой заготовки. Включение и выключение вращения распределительного вала *V* осуществляются зубчатой муфтой *1*. При наладке автомата вращение распределительного вала вручную производится рукояткой *2* через цепную передачу 12/16 и зубчатую передачу 28/28. Диаметр сменного шкива *D*, которым настраивают частоту вращения резцовой головки $n_{\text{р.г}}$ в соответствии с требуемой скоростью резания, определяют из уравнения кинематического баланса цепи главного привода:

$$n_{\text{эл}} D/110 = n_{\text{р.г}}.$$

При $n_{\text{эл}} = 1440$ мин$^{-1}$ $D \approx 0{,}08\, n_{\text{р.г}}$.

Передаточное отношение сменной пары зубчатых колес a/b находят из уравнения кинематического баланса цепи привода распределительного вала, частота вращения которого $n_{\text{р.в}}$ соответствует продолжительности цикла в секундах $T_{\text{ц}}$ обработки одной детали:

$$n_{\text{эл}} \frac{25}{52} \frac{26}{40} \frac{a}{b} \frac{2}{45} = n_{\text{р.в}},$$

откуда $a/b = 0{,}05\, n_{\text{р.в}}$ или (с учетом зависимости $n_{\text{р.в}} = 60/T_{\text{ц}}$) $a/b = 3/T_{\text{ц}}$.

3.3. Автоматы продольного точения

Автоматы этого типа предназначены для изготовления деталей из различных марок сталей, цветных металлов и сплавов с высокой точностью: по диаметру — по квалитетам 6…8; по длине — не ниже квалитета 8.

Отличительной особенностью автоматов продольного точения (рис. 3.7) является то, что пруток в них кроме вращательного движения имеет вместе со шпиндельной бабкой *6* продольное перемещение. Все суппорты автомата, которых может быть четыре или пять, расположены веерообразно вокруг обрабатываемого прутка. Они имеют только поперечное перемещение. При одновременном согласованном перемещении шпиндельной бабки с прутком и поперечных суппортов на этих автоматах можно без применения фасонных резцов обрабатывать конические и фасонные поверхности.

Вертикальные суппорты *2*, *3* и *5* расположены на специальной стойке, имеют прямолинейное перемещение и управляются от индивидуальных кулачков распределительного вала. Два горизонтальных суппорта *1* и *9* расположены на балансире *10*, имеют качательное движение вокруг оси *11* и управляются оба от одного кулачка *12*. В стойке, на которой расположены вертикальные суппорты, установлен неподвижный люнет *4*, являющийся дополнительной передней опорой для прутка.

Все суппорты с резцами располагаются в непосредственной близости от люнета, благодаря чему на автоматах продольного точения можно обрабатывать с высокой точностью достаточно длинные заготовки малого диаметра ($l/d = 20…30$). С заднего конца пруток постоянно поджимается толкателем *8* под действием груза *7* для удержания его в переднем положении при отходе шпиндельной бабки назад. Шпиндель в автоматах продольного точения всегда вращается в одну сторону (имеет левое вращение), и поэтому нарезание правой резьбы на них производится методом обгона.

На рис. 3.8 показана обработка типовой заготовки на автомате продольного точения. Обработка осуществляется путем последовательного чередования

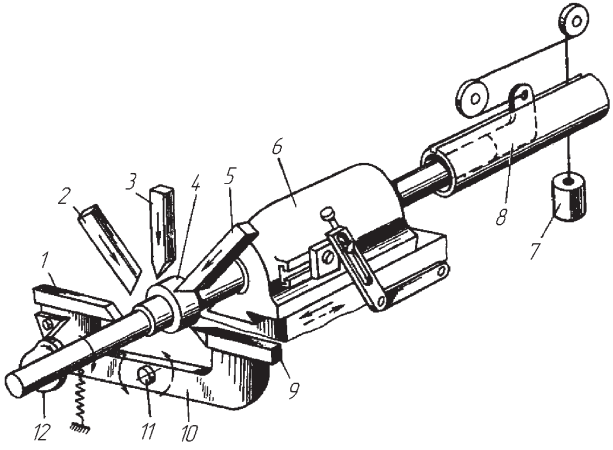


Рис. 3.7. Схема работы автомата продольного точения

3.2. Технические характеристики автоматов продольного точения

Параметр	Мод. 1103; 11О3А	Мод. 1Б10В;	Мод. 1М10В; 1М10А	Мод. 11Т16В	Мод. 1М32В
Диаметр обрабатываемого прутка, мм, не более	4	6	10	16	32
Диаметр сверления, мм, не более:					
по стали,	2	4	6	7	12
по латуни	2,5	5	7	9	14
Нарезаемая резьба:					
по стали	М2	М4	М2, М5	М6, М8	М14
по латуни	М3	М5	М2, М6	М10, М12	М18
Длина, мм, не более:					
подачи прутка за цикл	50	60	80; 100	80; 140	100; 180
сверления	30	40	40	35…40	75
нарезаемой резьбы	25	40	40	40…50	75
Частота вращения, $мин^{-1}$:					
шпинделя	1600…12500	1400…10000	900…8000	450…6300	280…3550
распределительного вала	1,4…4,0	0,254…50,8	0,099…33,78	0,049…20,4	0,035…22,4
Число суппортов	5	5	6	5	5
Рабочий ход суппортов, мм:					
балансира №1 и 2	8*	8*	10*	18	28
стойки № 3	20	20	15	40	15…30
стойки №4 и 5	12	10	20	20	15…45
Число скоростей шпинделя	19	18	20	24	2**
Мощность главного привода, кВт	1	1,5	2,2	3,0	3,1/4,7
Масса, кг	400	630	840	1200	1700

* На оба резца.

** Два диапазона частот вращения шпинделя с бесступенчатым регулированием.

продольного перемещения шпиндельной бабки с прутком и поперечных перемещений резцов (см. позиции *1—11*). Только на позициях *12—13*, где проводятся обработка обратного конуса и отрезка изготовленной детали, осуществляется одновременное перемещение прутка с бабкой и отрезного резца. Короткие заготовки обрабатывают без люнета вблизи от передней опоры шпинделя. При обработке заготовок из квадратного и шестигранного прутков применяют вращающийся люнет.

Обработка заготовок на этих автоматах ведется из холоднотянутого калиброванного (шлифованного) пруткового материала высокого класса точности. Технические характеристики автоматов продольного точения приведены в табл. 3.2.

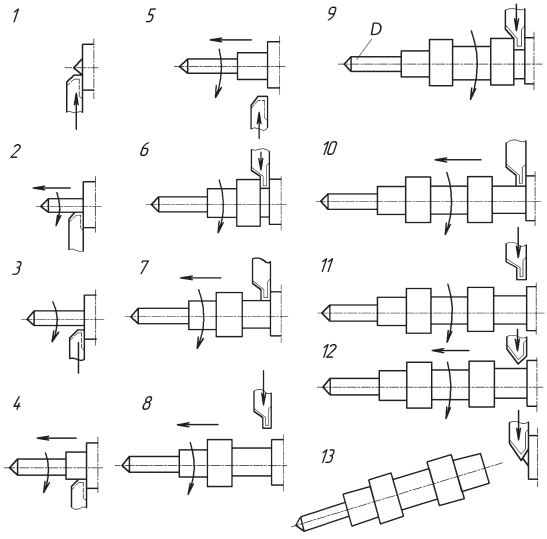


Рис. 3.8. Схема обработки заготовки на автомате продольного точения

Устройство и компоновка автоматов продольного точения всех моделей практически одинаковые, причем последняя в целом повторяет компоновку фасонно-отрезных автоматов (см. рис. 3.2). На основании, внутри которого размещены приводы рабочих механизмов автомата и резервуар с насосом системы охлаждения, установлена станина, на которой расположены все узлы и механизмы, связанные с непосредственным изготовлением детали по схеме на рис. 3.7.

Кинематические схемы автоматов продольного точения также почти не отличаются одна от другой и включают в себя три цепи: главного движения, привода распределительного вала и привода вращения специальных приспособлений. Некоторые автоматы, например мод. 1П12, 1П16, имеют в приводе распределительного вала дополнительную цепь ускоренного вращения, которая используется при холостых ходах. На рис. 3.9 приведена кинематическая схема автомата продольного точения мод. 1Б10П.

Цепь главного движения: шпиндель автомата получает вращение от электродвигателя *M* через плоскоременную передачу со сменными шкивами *A* и *B* и далее от трансмиссионного вала *II* еще через одну плоскоременную передачу с постоянными шкивами диаметрами 156 и 63 мм. Уравнение кинематического баланса этой цепи без учета проскальзывания плоскоременных передач

$$n_{эл}\frac{A}{B}\frac{156}{63}=n_{шп},$$

откуда $A/B = 0{,}0003\,n_{шп}$, где $n_{шп}$ — частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$.

Цепь привода вращения распределительного вала: от электродвигателя до трансмиссионного вала *II* эта цепь совпадает с цепью главного движения, а далее она проходит через четырехступенчатую клиноременную передачу, червячный редуктор 6/18, сменные зубчатые колеса *а* и *б*, двухступенчатую клиноремен-

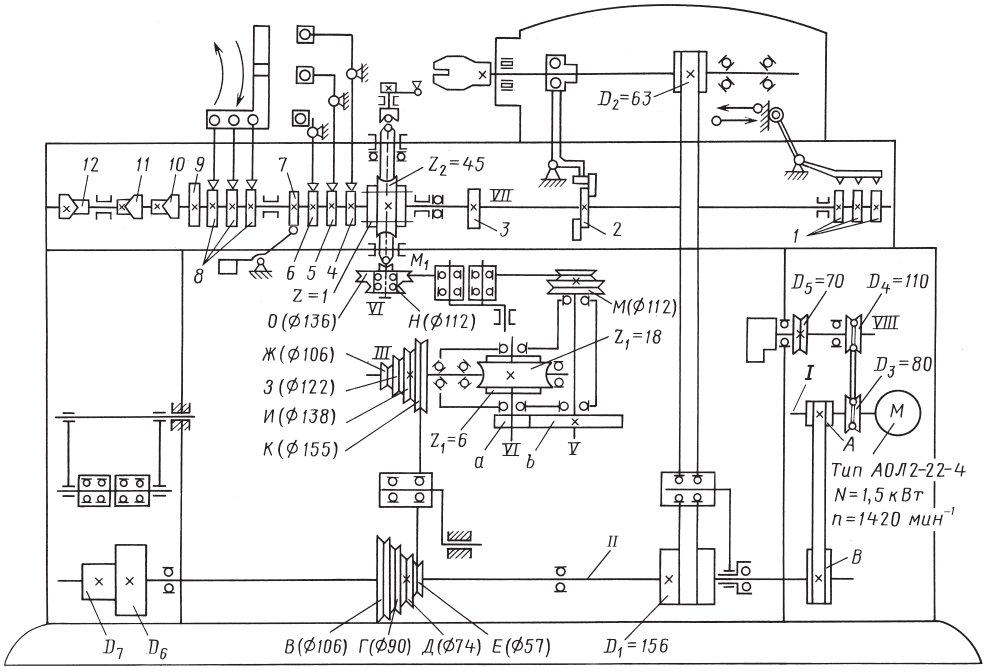


Рис. 3.9. Кинематическая схема автомата продольного точения мод. 1Б10П

ную передачу, червячную передачу 1/45, колесо которой закреплено на распределительном валу *VII* с кулачками *1—12*.

Уравнение кинематического баланса этой цепи

$$n_{эл}\frac{A}{B}i_1\frac{6}{18}\frac{a}{b}i_2 = n_{р.в},$$

откуда

$$\frac{a}{b} = 0{,}095\frac{B}{A}\frac{1}{i_1 i_2}n_{р.в},$$

где $n_{р.в}$ — частота вращения распределительного вала, мин$^{-1}$; i_1 и i_2 — передаточные отношения ступенчатых клиноременных передач, которые могут иметь следующие значения: $i_1 = 57/155$; $74/138$; $90/122$; $106/106$ и $i_2 = 112/112$; $88/136$.

Вращение шпинделей специальных приспособлений (резьбонарезного и сверлильного) осуществляется через плоскоременные передачи от шкивов D_6 и D_7, установленных на левом конце трансмиссионного вала *II*. От шкива $D_5 = 70$ мм, установленного на валу насоса системы охлаждения, приводится во вращение фреза шлицепрорезного приспособления.

3.4. Токарно-револьверные автоматы

Токарно-револьверные автоматы предназначены для изготовления деталей из различных сталей и цветных металлов и сплавов по 9…11-му квалитетам. Обработка на них ведется из холоднотянутого калиброванного круглого, квадратного и шестигранного пруткового материала.

В отличие от автоматов продольного точения, шпиндельная бабка *1* токарно-револьверного автомата (рис. 3.10) не имеет осевого перемещения. Шпиндель *2* обеспечивает более быстрое левое вращение, при котором выполняется большинство рабочих операций, и медленное правое вращение, при котором производят нарезание резьбы, развертывание и некоторые другие операции. Кроме поперечных суппортов *3*, токарно-револьверные автоматы имеют один продольный револьверный суппорт *5*, на котором установлена поворотная шестипозиционная (*I*—*VI*) револьверная головка *4* с инструментами для обработки с продольной подачей. В одной позиции револьверной головки устанавливается регулируемый упор *6*, ограничивающий величину подачи прутка *7*.

Технические характеристики некоторых токарно-револьверных автоматов приведены в табл. 3.1.

Все токарно-револьверные автоматы однотипны по компоновке и имеют практически одинаковое устройство (рис. 3.11). В основании *4* автомата размещены системы смазки и охлаждения, а также коробка скоростей. Сверху к основанию крепится станина *6*, на которой смонтирована шпиндельная бабка *1* с расположенным на ней специальным кронштейном для одного или двух вертикальных поперечных суппортов и которая имеет продольные и поперечные прямоугольные направляющие для револьверного суппорта *3* с шестипозиционной головкой *2* и двух горизонтальных (переднего и заднего) поперечных суппортов. На рис. 3.11 поперечные суппорты закрыты ограждением *5*.

На рис. 3.12 показана кинематическая схема токарно-револьверного автомата мод. 1Е140П, отличительными особенностями которого являются: наличие дополнительного продольного суппорта, цепь ускоренного вращения распределительного вала на холостом ходу и применение для всех рабочих и вспомога-

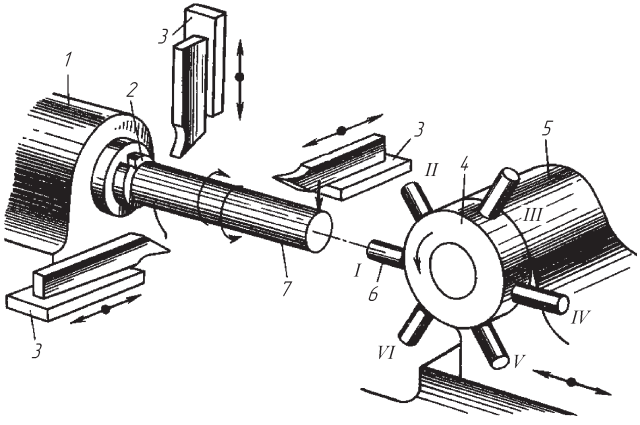


Рис. 3.10. Схема работы токарно-револьверного автомата

тельных движений в цикле обработки общего электродвигателя. Вращение шпинделя *VI* автомата (главное движение) осуществляется от двигателя *M* через цепь, включающую: передачу зубчатым ремнем со сменными шкивами, автоматическую коробку скоростей (валы *I*—*V*) со сменными колесами *a*/*b* и передачу зубчатым ремнем 24/24.

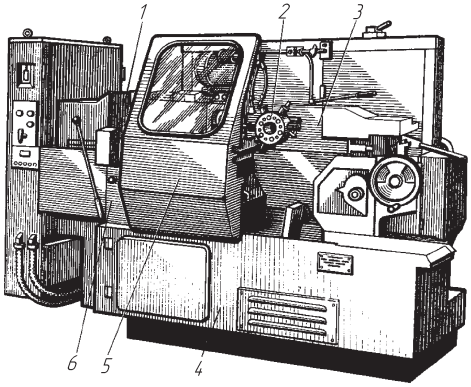


Рис. 3.11. Общий вид токарно-револьверного автомата мод. 1Е140П

Подачу и отвод суппортов с инструментами и управление циклом работы автомата осуществляет распределительный вал, который во всех токарно-револьверных автоматах конструктивно выполнен в виде двух валов (*XIII* и *XV*), связанных между собой кинематической цепью с передаточным отношением 1:1 (две червячные передачи 1/40 на валах *XII* и *XIV*, соединенных между собой конической зубчатой передачей 29/29).

Распределительный вал приводится во вращение от двигателя *M* через цепную передачу 16/37, зубчатые колеса реверса 26—26—90, предохранительную муфту M_6, вспомогательный вал *VII* с соединительной муфтой M_8, зубчатые колеса 35—25—26, сменные колеса *c*—*d*—*e*—*f*—*g*—*h*, муфту обгона M_{12}, зубчатые колеса 30/75, предохранительную муфту M_{10} на валу *XII* и далее через червячные передачи 1/40 на валы *XIII* и *XV*.

Сменными колесами настраивается продолжительность ($T_ц$) цикла, с, за который распределительный вал *XIII* сделает один оборот.

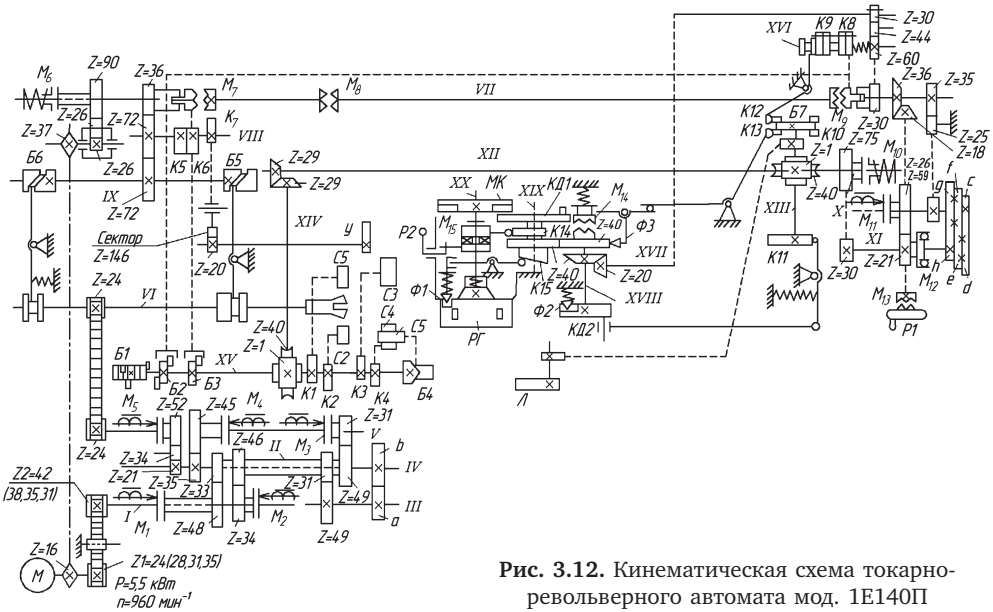


Рис. 3.12. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата мод. 1Е140П

$\frac{n_{эл}}{60}T_{ц}$ об. двигателя $M \to 1$ об. распределительного вала *XIII*.

Тогда уравнение кинематического баланса

$$\frac{960}{60}T_{ц}\frac{16}{37}\cdot\frac{26}{26}\cdot\frac{26}{90}\cdot\frac{35}{25}\cdot\frac{25}{26}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{g}{h}\cdot\frac{30}{75}\cdot\frac{1}{40}=1, \text{ откуда } \frac{c}{d}\frac{e}{f}\frac{g}{h}\approx\frac{37}{T_{ц}}.$$

Ускоренное вращение распределительного вала ($n_{р.в}$) осуществляется включением муфты M_{11}:

$$n_{р.в}=960\frac{16}{37}\cdot\frac{26}{26}\cdot\frac{26}{90}\cdot\frac{35}{25}\cdot\frac{25}{26}\cdot\frac{59}{21}\cdot\frac{30}{75}\cdot\frac{1}{40}\approx 4{,}5 \text{ мин}^{-1}.$$

Дисковые кулачки *К1, К2, К3, К4* на валу *XV* обеспечивают рабочую подачу и отвод поперечных суппортов, соответственно вертикальных *С1, С2* и горизонтальных *С3*, *С4*, а барабанный кулачок *Б4* — дополнительного продольного суппорта *С5*. Кулачок *К11* на валу *XIII* через рычаг и шатун перемещает револьверный суппорт с головкой *РГ*.

Остальные кулачки и барабаны на валах *XIII* и *XV* выполняют вспомогательные действия или управляют устройствами, осуществляющими *вспомогательные движения*, приведенные ниже.

1. *Изменение частоты и (или) направления вращения шпинделя*. Переключение электромагнитных муфт в коробке скоростей и реверсирование электродвигателя в течение цикла производятся регулируемыми упорами на барабане командоаппарата *Б1*.

2. *Смена позиций револьверной головки*. Упоры на барабане *Б2* через рычажную систему включают однооборотную муфту M_9 на вспомогательном валу *VII*, которая через зубчатые колеса 30—60—44—30, передачи 20/40 и 40/40 (при включенной муфте M_{14}) сообщает один оборот диску *КД1* (вал *XIX*) и соответственно шестипазовому мальтийскому кресту *МК* (вал *XX*) с револьверной головкой *РГ* поворот на 1/6 часть оборота.

Диск *КД1* совершает один оборот за два оборота вспомогательного вала *VII*, и поэтому в течение его первого оборота кулачки *К8* на валу *XVI* блокируют рычажную систему муфты M_9, исключая ее преждевременное выключение.

Смена позиций револьверной головки сопровождается дополнительными вспомогательными действиями:

а) расфиксацией головки и снятием ее с зажимного конуса, которые обеспечиваются кулачками *К14, К15* (вал *XIX*) совместно с муфтой M_{15} (вал *XX*) и фиксатором *Ф1*. Эти же действия при наладке осуществляют вручную рукояткой *Р2*;

б) отводом револьверного суппорта на величину удвоенного эксцентриситета кривошипного диска *КД2*, который происходит автоматически с началом вращения вала *XVIII*. При обработке вал *XVIII* удерживается от произвольного поворота фиксатором *Ф1*.

Отвод револьверного суппорта без поворота головки и его останов в отведенном положении обеспечиваются кулачком *К9* (вал *XVI*) совместно с муфтой M_{14} и фиксатором *Ф3* (вал *XVIII*), управление которыми осуществляют регулированием кулачков *К12* и *К13* на барабане *Б7* распределительного вала.

• 3. *Подача и зажим материала.* Упор на барабане *Б3* через рычажную систему включает однооборотную муфту M_7 на вспомогательном валу *VII*, которая через зубчатые колеса 36—72—72 за два оборота вала *VII* сообщает валу *IX* с барабанными кулачками *Б5* (зажим-разжим цанги) и *Б6* (подача прутка) один оборот, а необходимую блокировку рычагов муфты M_7 обеспечивают кулачки *К5, К6* на валу *VIII*. Подачу прутка осуществляют до упора, устанавливаемого в одной из позиций револьверной головки.

В случае, если при обработке сложной детали все позиции головки заняты режущим инструментом, используется качающийся упор *У*, который подводится и отводится кулачком *К7* (вал *VIII*) через рычаг, зубчатый сектор $Z = 146$ и колесо 20.

• 4. В*ывод лотка Л из зоны падения отрезанной готовой детали* (подвод под действием пружины) осуществляет кулачок *К10* (вал *XIII*).

Продолжительность по времени вспомогательных движений связана с частотой вращения вспомогательного вала:

$$n_{\text{в.в}} = 960 \cdot \frac{16}{37} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{90} = 120 \text{ мин}^{-1}.$$

Следовательно, смена позиций револьверной головки, а также подача и зажим прутка осуществляются в течение 1 с. При реверсировании электродвигателя направление вращения вспомогательного вала сохраняется неизменным за счет вывода из зацепления колес 26—26—90 паразитного колеса 26. Вспомогательный вал можно вращать и вручную от маховичка *Р1* через муфту M_{13} и коническую передачу 18/36.

Основные узлы автомата. *Шпиндельная бабка* автомата мод. 1Е140П показана на рис. 3.13. Пустотелый шпиндель *12* установлен на двух опорах. Передней опорой служит двухрядный роликовый подшипник *11*, а задней — два радиально-упорных шарикоподшипника *2*. Опоры собраны с предварительным натягом. На шпиндель насажен приводной шкив *1*.

Внутри шпинделя помещена подающая труба *19*, в правый конец которой ввернута подающая цанга *15*, постоянно сжимающая пруток за счет сил упругости.

Левый конец трубы через подшипник *21* связан с салазками *20*, которые могут перемещаться по направляющим *27* кронштейна *28*. За один оборот барабанного кулачка *26* рычаг *25* совершает одно качание, которое через сухарь *24* и гайку *23* сообщает салазкам с трубой и цангой один двойной ход. Длина хода, а следовательно, и величина подачи прутка, регулируются винтом *22*.

В отверстии переднего конца шпинделя установлена конусная втулка *14*, в которую вставлены пружина *10* и сменная зажимная цанга *13*. Пружина сжатия *10* упирается одним концом в торец зажимной цанги, а другим — во внутренний бурт конусной втулки и постоянно стремится сдвинуть конусную втулку влево, освобождая цангу и разжимая пруток. Для зажима прутка конусная втулка должна сместиться вправо с помощью более жестких тарельчатых пружин *3*, нажимающих через гайку *4*, стакан *5*, оси *9*, три рычага *8* и втулку *16* на торец конусной втулки. Положение конусной втулки, представленное на рис. 3.13, соответствует процессу обработки, когда пруток в цанге зажат.

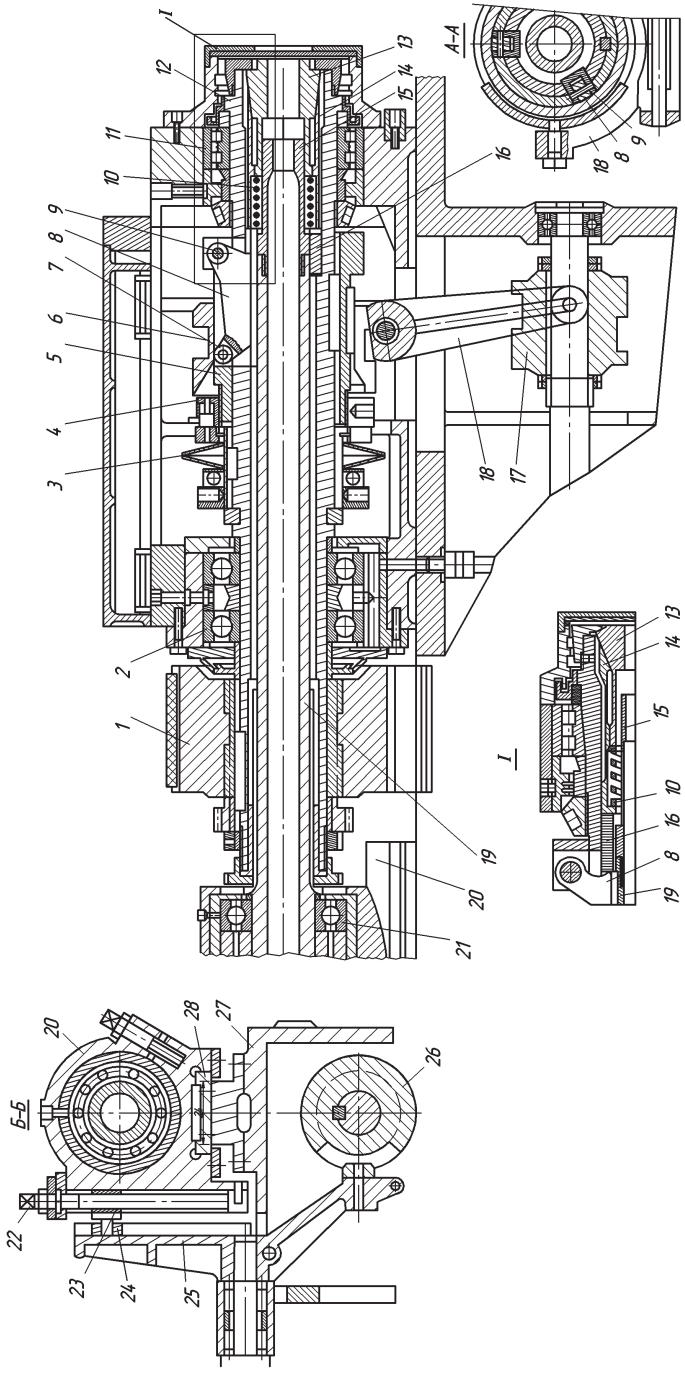


Рис. 3.13. Шпиндельная бабка токарно-револьверного автомата мод. 1Е140П

Для разжима прутка барабанный кулачок *17*, установленный на одном валу с кулачком *26*, должен повернуть рычаг *18* и сместить муфту *6* вправо. Ролики *7*, утопленные в стакан *5*, получат возможность выйти из него в выточку муфты, а рычаги *8* повернуться вокруг своих осей *9*. Это происходит под действием пружины *10*, сдвигающей втулку *14* влево, которая через втулку *16* нажимает на короткие плечи рычагов *8*.

Взаимное расположение профильных кривых на кулачках *17* и *26* обеспечивает следующую последовательность работы подающей и зажимной цанг.

При перемещении подающей цанги *15* влево она скользит по прутку, который удерживается зажимной цангой *13*. После раскрытия цанги *13* подающая цанга *15* с прутком движется вправо до встречи с упором (качающимся или установленным в револьверной головке). От удара прутка об упор возможен его отскок, и поэтому ход салазок *20* настраивается большим по сравнению с требуемым вылетом прутка, чтобы при дальнейшем перемещении цанги был обеспечен контакт прутка с упором. После этого и происходит зажим прутка.

Автоматическая коробка скоростей, примененная в главном приводе автомата мод. 1Е140П, является нормализованным узлом (АКС-206-63-11). Ее конструкция описана в т. 1, п. 5.3 (рис. 5.61).

Поперечные суппорты (рис. 3.14) токарно-револьверного автомата перемещаются от кулачков распределительного вала через рычаги *7*, *8*, *13*, *14* и др.

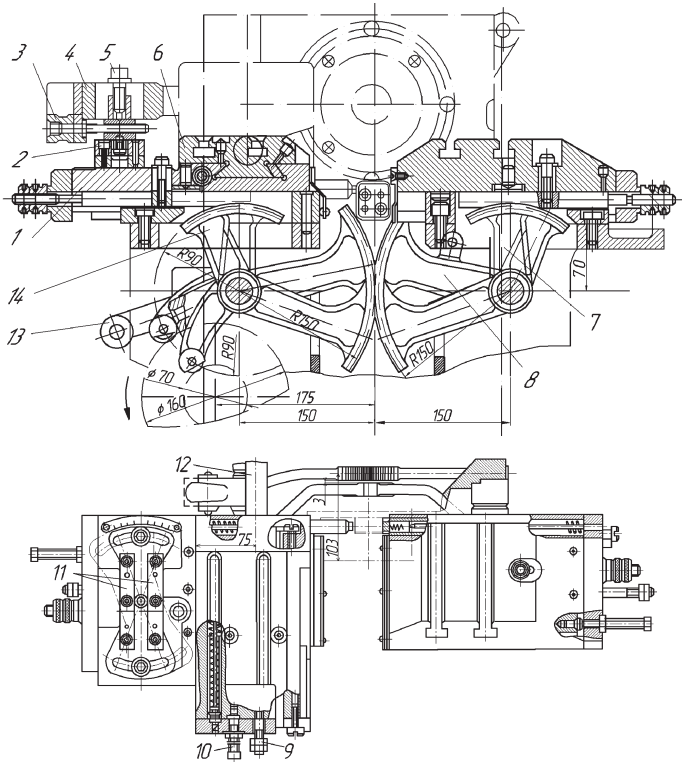


Рис. 3.14. Разрез поперечных суппортов автомата мод. 1Б140

с зубчатыми секторами, имеющими для всех суппортов передаточное отношение 1:1.

На переднем горизонтальном суппорте *1* имеются продольные направляющие, в которых тягой *12* от отдельного кулачка перемещается параллельно оси шпинделя дополнительный продольный суппорт *6*. Если он в работе не используется, его жестко закрепляют на призме переднего поперечного суппорта враспор винтом *10* и гайками *9*.

Продольный суппорт расширяет технологические возможности автомата. На рис. 3.14 приведен пример использования суппорта при обработке конусов с помощью установленного на нем специального приспособления (показано штрихпунктирными линиями). При продольном перемещении суппорта *6* ролик *2* скользит по пазу между копирными планками *11*, установленными на поперечном суппорте *1* и повернутыми на заданный угол. В результате ползуну *4* с резцом одновременно сообщается поперечная подача по направляющим приспособления, и таким образом обтачивается конус. Ползун с резцом устанавливают на требуемый размер винтом с лимбом *3*, предварительно ослабив винты *5*.

Продольный суппорт с револьверной головкой наиболее распространенной конструкции показан на рис. 3.15. Станок обеспечивает рабочие ходы суппорта *18* от кулачка *12*, а также быстрый отвод-подвод суппорта на расстояние, не зависящее от перепада радиусов на кулачке *12* и достаточное для того, чтобы исключить столкновение инструмента с обрабатываемой заготовкой при смене позиций револьверной головки.

При рабочем ходе суппорта поворот рычага *13* с зубчатым сектором *11* от кулачка *12* вызывает перемещение пустотелой рейки *14* с расположенной внутри и жестко связанной с ней штангой *15* и далее шатуна *16* и кривошипа *17*, вал *3* которого с подшипниками установлен непосредственно в корпусе суппорта. Положение суппорта можно регулировать смещением штанги *15* относительно рейки *14* с помощью резьбовой втулки *9* с контргайкой *8*. Пружина *10* обеспечивает обратный ход суппорта, осуществляя силовое замыкание кулачкового механизма.

Поворот револьверной головки *1* на 1/6 оборота совершается за один оборот вала *3*, на котором установлены кулачок *4* фиксатора *2* револьверной головки и диск *5* с расположенным на торце поводком (на рис. 3.15 не показан) мальтий-

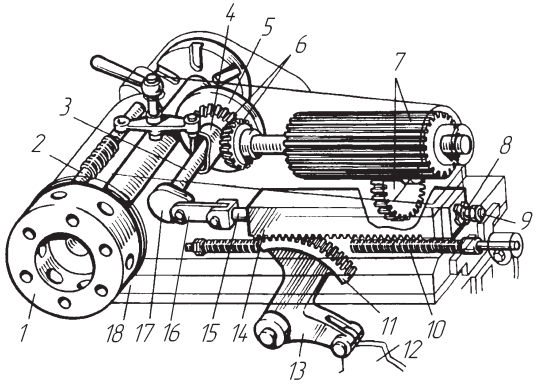


Рис. 3.15. Продольный суппорт с револьверной головкой токарно-револьверных автоматов

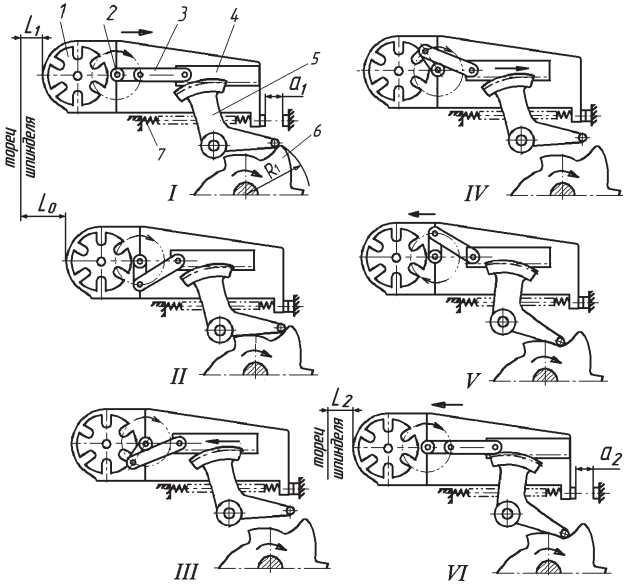


Рис. 3.16. Схема поворота револьверной головки:
I, II, III, IV, V, VI — последовательные положения

ского креста. Вращение валу *3* передается от вспомогательного вала зубчатыми колесами *7* и *6*.

Цикл поворота револьверной головки осуществляется следующим образом (рис. 3.16): в начале кривой спада на кулачке *6* (позиция *I*) подается команда на включение однооборотной муфты на вспомогательном валу, и валик *2* начинает вращательное движение, выводя кривошипно-шатунный механизм из «мертвого» положения, при котором суппорт находился на расстояниях L_1 и a_1 соответственно от торца шпинделя и заднего жесткого упора.

Под действием пружины *7* суппорт с поворачивающимся кривошипным валиком *2* отходит назад до упора (позиция *II*), и шатун *3* с рейкой *4* начинают двигаться вперед, отрывая ролик рычага *5* от кулачка *6*. В это время происходит расфиксация головки и начинается ее поворот (позиция *III*), по завершении которого (позиция *IV*) она должна быть вновь зафиксирована. При повороте головки кривошипно-шатунный механизм проходит второе «мертвое» положение, после которого направление смещения рейки *3* с шатуном *4* изменится на обратное и будет продолжаться до тех пор, пока ролик рычага *5* не опустится на кулачок *6* (позиция *V*).

Завершая оборот, валик *2* давит через шатун на неподвижную рейку и осуществляет перемещение суппорта вперед в исходное положение (позиция *VI*). Новые расстояния L_2 и a_2 связаны с предыдущими значениями L_1 и a_1 зависимостью $L_1 + a_1 = L_2 + a_2 = L_0$, а максимальное расстояние, на которое может быть отведен суппорт, равно двум радиусам кривошипа. Продолжительность цикла поворота револьверной головки автомата мод. 1Е140П составляет 1 с.

3.4.1. Наладка токарно-револьверного автомата

Наладка автомата на изготовление определенной детали включает в себя:

• разработку технологического процесса изготовления детали;

• составление карты наладки с учетом паспортных данных станка и имеющейся оснастки;

• проектирование и изготовление недостающих державок и кулачков, настройку станка и изготовление пробной детали.

При разработке технологического процесса рекомендуется соблюдать следующие основные правила.

1. Совмещать работу суппортов и, следовательно, увеличивать число одновременно работающих инструментов.

2. Избегать уменьшения жесткости обрабатываемой заготовки до завершения черновых операций.

3. Не допускать совмещения черновых и чистовых операций, которые всегда должны выполняться последними.

4. Концентричные поверхности, особенно с допуском соосности, окончательно обрабатывать в одной позиции.

5. Для получения линейных размеров с наименьшими допусками использовать поперечные суппорты.

6. Для сверления отверстий диаметром $d < 10$ мм производить центрование. Глубокие отверстия ($l > 4d$) выполнять за несколько переходов: первый $l \le 3d$, второй $l \le 2d$, третий и последующие $l \le d$.

7. Не совмещать нарезание резьбы с другими операциями. При этом расчетный рабочий ход инструмента увеличивают на 2—3 шага по сравнению с длиной резьбы на чертеже детали (см. ниже пример наладки), а фактический — уменьшают на 10…15% за счет уменьшения радиуса кулачка в конце рабочего хода. Это делается для того, чтобы при подпружиненном осевом перемещении инструмента в державке исключить срыв резьбы при реверсировании вращения шпинделя.

8. При обработке торцов, фасок, канавок и т.п. суппорту с инструментом в конце рабочего хода давать выдержку без подачи (паузу) на время двух—пяти оборотов шпинделя.

9. Сокращать время работы отрезного резца, особенно при сплошном сечении среза, путем перекрытия зоны отрезки проходным резцом при точении, проточкой канавок и т. д.

10. При выборе скоростей резания для всех операций стойкость инструмента должна составлять не менее 100 мин. Глубины резания и величины подач зависят от вида операции и определяются припусками на обработку и шероховатостью поверхности с учетом допустимых сил резания.

Принятый технологический процесс обработки вычерчивается в масштабе в виде последовательных переходов с показом всех инструментов и державок в момент окончания рабочего хода и указанием размеров, используемых в дальнейшем для определения конечных и начальных радиусов кулачка для каждого перехода (с учетом соотношения плеч рычагов, связывающих суппорт с кулачком).

Числовая координация рабочих и холостых ходов, а также других вспомогательных действий выполняется в сотых долях одного оборота распределительно-

го вала, в связи с чем начало и конец каждого перехода обозначаются порядковыми номерами сотых делений, начиная от его нулевой отметки.

Пример расчета наладки токарно-револьверного автомата мод. 1Е140П для изготовления детали (рис. 3.17, *а*).

1. *Разработка технологического процесса.* В качестве заготовки можно выбрать пруток диаметром 40 мм. Распределение обработки по переходам 1—7 и по суппортам, совмещение обработки различных поверхностей показаны на рис. 3.17, *б* и в табл. 3.3.

2. *Выбор режимов резания*. С учетом вида обработки, материала заготовки (сталь А12) и инструмента (проходной и отрезной резцы из твердого сплава Т15К6, остальные инструменты — из быстрорежущей стали Р18) приняты подачи *S*, указанные в графе 5 карты наладки. При совмещенной работе нескольких инструментов одного суппорта общую подачу принимают по лимитирующему инструменту, работающему при наименьшей подаче. Приняты также следующие

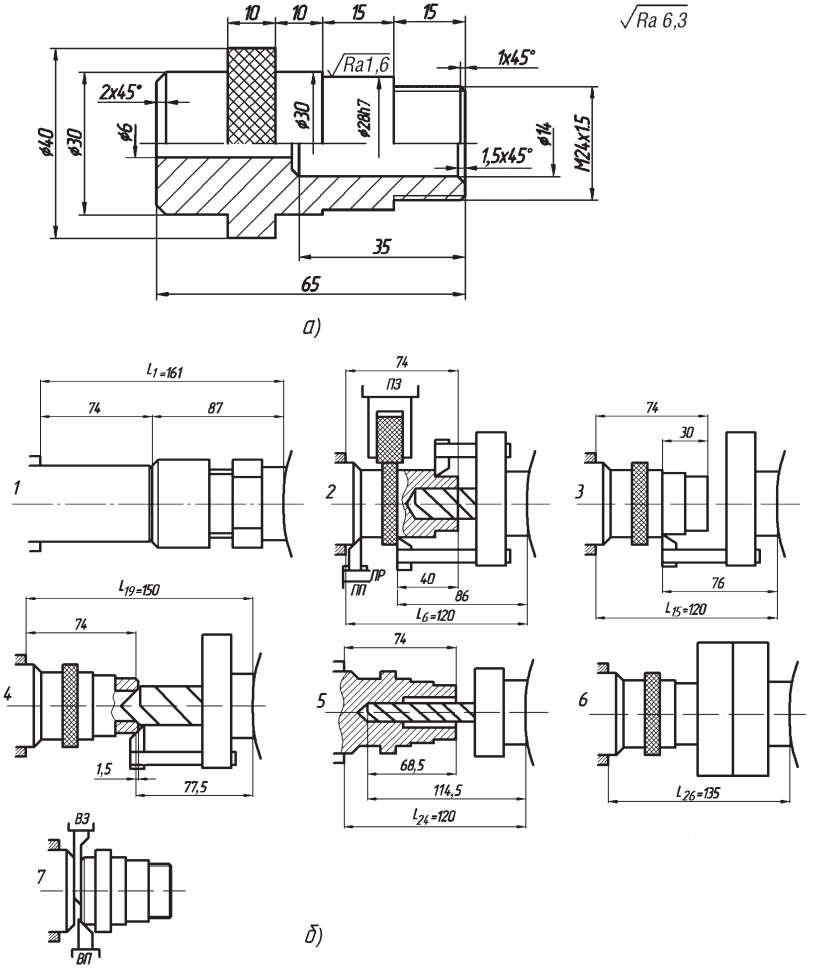


Рис. 3.17. Эскизы детали (*а*) и ее обработки по переходам (*б*)

3.3. Карта наладки токарно-револьверного автомата 1Е140П

Заготовка: материал — сталь А12 калиброванная, пруток диаметром 40 III кл.

Частота вращения, мин$^{-1}$	630	1250	50	320
Номер переходов	2; 3; 4	5	6	7

Сменные колеса коробки скоростей: $a = 55$; $b = 27$. Сменные шкивы: $Z_1 = 24$; $Z_2 = 42$. Основная частота вращения 630 мин$^{-1}$.
Число оборотов, потребное для изготовления одной детали, 2510. Время цикла 236 с.
Сменные колеса коробки подач: $c = 26$; $d = 54$; $e = 37$; $f = 43$; $g = 22$; $h = 58$

Суппорт	Номер перехода	Содержание перехода	Ход суппорта, мм	Подача, мм/об	Число оборотов за переход		Кулачки					
					действительное	приведенное	Деления				Радиус, мм	
							Число		Порядковые номера		От	До
							Для рабочих ходов	Для вспомогательных действий	От	До		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Револьверный	1	Подача прутка до упора						0,5	0	0,5	99	99
		Поворот головки						2	0,5	2,5	98	98
	2	Обтачивание ∅30, ∅24 $h11$ и сверление отверстия ∅14	41	0,1	410	410	16,5		2,5	19	99	140
		Пауза						0,5	19	19,5	140	140
		Поворот головки						2,5	19,5	22	140	*
	3	Обтачивание ∅28 $h7$	16	0,08	200	200	8		22	30	124	140
		Пауза						0,5	30	30,5	140	140
		Отвод головки	16	0,06	265	265	10,5		30,5	41	140	124
		Поворот головки						2,5	41	43,5	106	106
	4	Снятие фасок 1,5×45° и 1×45°	2,5	0,07	35	35	1,5		43,5	45	107,5	110

		Пауза						0,5	45	45,5	110	110
		Поворот головки						2,5	45,5	48	105	105
	5	Сверление отверстия ∅6	21	0,06	350	175	7		48	55	106,5	127,5
		Вывод и ввод сверла						1	55	56	127	127
		Сверление отверстия ∅6	13	0,05	260	130	5		56	61	127	140
		Поворот головки						3,5	61	64,5	106	106
	6	Нарезание резьбы	18	1,5	12	150	6		64,5	70,5	107	122
		Реверсирование шпинделя, переключение частоты вращения						0,5	70,5	71	122	122
		Свинчивание плашки	18	1,5	12	25	1		71	72	122	107
		Поворот головки							72	*	107	
Поперечный: передний	2	Врезание до ∅30	5,5	0,025	220	(220)	(9)		(5)	(14)	59,5	55
		Пауза						(13)	(14)	(27)	65	65
		Отвод резца							(27)	*	65	
задний	2	Подвод накатника							*	(2,5)		58,5
		Накатывание	1,5	0,05	30	(30)	(1,5)		(12,5)	(4)	58,5	60
		Пауза						(0,5)	(4)	(4,5)	60	60
Продольный	2	Обтачивание ∅30	1,5	0,05	300	(300)	(12)		(14,5)	(26,5)	65	80
		Пауза						(1,5)	(26,5)	(28)	80	80
		Отвод резца							(28)	*	80	
Верхний: передний	2	Снятие фаски 2×45°	2,5	0,03	85	(180)	(7)		(72)	(79)	62,5	65
		Пауза						(0,5)	(79)	(79,5)	65	65
		Отвод резца							(79,5)	*	65	
задний	7	Подвод резца							*	72		68
		Отрезание	12	0,04	300	630	25		72	97	68	80
		Отвод резца						3	97	100	80	
Итого						2020	80,5	19,5				

Примечания. 1. Значения, отмеченные*, получаются при построении по шаблону.
2. Значения в скобках не суммируются, так как переходы совмещены.

ориентировочные скорости главного движения резания v_0, м/мин: 80 — при обтачивании цилиндрических поверхностей, 50 — при снятии фасок, 30 — при сверлении и отрезании, 4 — при нарезании резьбы плашкой.

3. *Определение частоты вращения n шпинделя*. Исходя из диаметра обрабатываемой поверхности и ориентировочной (рекомендуемой) скорости резания v_0, определяют ориентировочную (предварительную) частоту вращения n_0. При совмещении работы группы инструментов выявляют лимитирующий инструмент, требующий наименьшей частоты вращения. Эта лимитирующая частота $n_л$ принимается в качестве общей для всей группы. Затем по паспорту станка выбирают частоту вращения n, определяют необходимые сменные шкивы и сменные колеса a/b.

4. *Определение длины l хода инструмента*. Кроме длины обрабатываемого участка, учитывают длину пути медленного подвода a, перебег инструмента, высоту режущего конуса сверла и другие факторы.

5. *Определение числа оборотов m шпинделя за время выполнения каждого перехода*. В графе 6 приведены значения $m = l/S$ при частоте n. При нарезании резьбы $S = P$, где P — шаг резьбы. Одну из частот вращения шпинделя (максимальную или наиболее часто используемую) принимают за основную $n_{осн}$, а остальные приводят к ней, причем коэффициент приведения $k = n_{осн}/n$ (в примере $n_{осн} = 630$ мин$^{-1}$). Тогда приведенное число оборотов $m_{пр}$ шпинделя за время выполнения каждого перехода $m_{пр} = mk$. В конце графы 7 указано суммарное число оборотов $\sum m_{пр} = 2020$ (числа оборотов для совмещенных переходов, взятые в скобки, в сумме не учитывают).

6. *Определение ориентировочного времени цикла.* Время для выполнения рабочих ходов

$$t_р = \frac{\sum m_{пр}}{n_{осн}} 60 = \frac{2020}{630} 60 = 192 \text{ с}.$$

Время $t_х$ для выполнения вспомогательных движений складывается из времени разжима, подачи и зажима прутка (1 с), поворотов револьверной головки (пять несовмещенных поворотов по 1 с), вывода и ввода сверла (1 с), выстоя резцов при зачистке (три несовмещенные паузы по 1,5 с), реверсирования шпинделя (0,5 с), отвода отрезного резца (несовмещенная часть занимает 7 с). Итого:

$$t_х = 1 + 1 + 5 + 1 + 1{,}5 \cdot 3 + 0{,}5 + 7 = 19 \text{ с}.$$

Таким образом, ориентировочное время цикла $T = t_р + t_х = 192 + 19 = 211$ с.

7. *Определение числа делений кулачков для осуществления вспомогательных движений*. Так как на кулачке всего 100 делений, то одна секунда соответствует $100 : T$ делений (сотых) кулачка. В примере движениям, занимающим 1 с, соответствует $100 : 211 \approx 0{,}5$ деления кулачка.

Суммируя по таблице число делений, приходящихся на несовмещенные вспомогательные движения, получаем $M_х = 19{,}5$.

8. *Определение числа делений кулачков для осуществления рабочих ходов*. Суммарное число делений, приходящихся на несовмещенные рабочие хода, $M_р = 100 - M_х = 100 - 19{,}5 = 80{,}5$. Число делений на отдельный рабочий ход

$$M = m_{\text{пр}} \frac{M_{\text{р}}}{\sum m_{\text{пр}}} = m_{\text{пр}} \frac{80{,}5}{2020} = \frac{m_{\text{пр}}}{25{,}1},$$

где 25,1 — приведенное число оборотов, приходящееся на одно деление кулачка. Округленные до 0,5 деления числа M представлены в графе 8 табл. 3.3. Графы 10 и 11 содержат порядковые номера делений, соответствующие началу и концу каждого перехода.

9. Определение продолжительности Т цикла. Поскольку на одно деление кулачка приходится 25,1 оборота шпинделя, то 100 делениям, т. е. полному циклу, соответствует $m_{\text{ц}} = 2510$ оборотов. Отсюда предварительно время цикла

$$T_0 = \frac{m_{\text{ц}}}{n_{\text{осн}}} 60 = \frac{2510}{630} 60 = 239 \text{ с}.$$

По паспорту станка окончательно принимаем $T = 236$ с. Соответствующие сменные зубчатые колеса *c*—*h* приведены в табл. 3.3.

Производительность станка при изготовлении заданной детали $Q = 3600/T = 3600/236 \approx 15$ шт./ч.

10. *Определение расстояния L от торца шпинделя до револьверной головки в конце каждого перехода*. Расстояние L зависит от размеров детали, определяющих конечное положение инструмента, и от вылета его державки. На рис. 3.17, *б* проставлены размеры L и размеры, от которых зависит L. В рассматриваемом станке $L_{\min}$ регулируется и должно быть в пределах 75 мм $\le L_{\min} \le$ 135 мм. В данном случае $L_{\min} = 120$.

11. *Определение радиусов кулачка револьверного суппорта*. Эти радиусы должны быть в пределах 80 мм $\le R \le$ 140 мм. $R_{\max}$ соответствует $L_{\min}$, т.е. в примере при $L = 120$ мм должно быть $R_{\max} = 140$ мм.

В других случаях наибольший радиус участка кулачка $R = R_{\max} - (L - L_{\min})$. В данном примере $R = 140 - (L - 120) = 260 - L$. Наименьший радиус участка кулачка $R_0 = R - l$, где l — длина хода суппорта. Результаты определения R и R_0 для каждого перехода приведены в графах 12 и 13. Радиус кулачка при повороте револьверной головки принимается на 1 мм меньше начального радиуса следующего перехода. Радиус кулачка при подаче и зажиме прутка принимается равным начальному радиусу перехода 2, и, исходя из этого условия, определяется длина регулируемого упора.

12. *Определение радиусов кулачков других суппортов*. У кулачков всех суппортов, кроме револьверного, радиус $R \le R_{\max} = 80$ мм. У кулачков поперечных суппортов $R = R_{\max} - r$, где r — радиус обработанной поверхности.

Для построения профиля кулачка используют поле диска, разбитое лучами на 100 равных секторов. На лучах, порядковые номера которых указаны в карте наладки, делают засечки из центра кулачка радиусами R_0 (начало участка) и R (конец участка).

Участок выстоя оформляется по дуге окружности. На участках движения подачи обычно используют архимедову спираль. Для повышения точности профилирования проводят лучи не прямые, а очерченные дугой окружности (с радиусом $R_{\text{т}}$), по которой перемещается центр ролика толкателя (рис. 3.18, *а*). Чтобы прове-

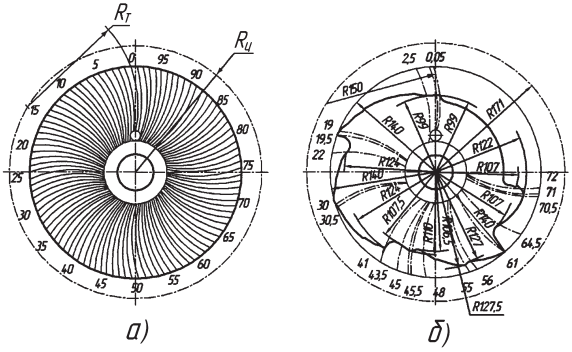


Рис. 3.18. Заготовка (*а*) и профиль (*б*) кулачка револьверного суппорта

сти все лучи, центр самой окружности должен смещаться по дуге окружности радиусом $R_ц$. При этом способе сначала строят точки, принадлежащие не профилю кулачка, а центрам ролика толкателя. Профиль кулачка проводят как огибающую линию, касательную к ролику в разных его положениях. Участки для быстрого подвода и отвода инструмента вычерчивают по специальным шаблонам. Кривые шаблона обеспечивают минимальную продолжительность движения в сочетании с допустимым значением силы инерции. Кулачок револьверного суппорта управляет работой многих инструментов, поэтому его профиль наиболее сложен. На рис. 3.18, *б* показан профиль кулачка для рассмотренного примера.

3.5. Многошпиндельные токарные автоматы

Многошпиндельные горизонтальные токарные автоматы, как и одношпиндельные, предназначены для изготовления различных деталей из труб и калиброванных прутков круглого, квадратного или шестигранного сечения из различных марок стали и цветных сплавов. Они могут иметь четыре, шесть (рис. 3.19) или восемь шпинделей *6*, расположенных по окружности в едином шпиндельном блоке *1* и получающих вращение с одинаковой частотой от главного привода через вал *3* и общее центральное колесо *7*. Периодическим поворотом шпиндельного блока шпиндели переводятся из одной позиции в другую.

Режущий инструмент устанавливается на индивидуальных для каждой позиции поперечных суппортах *2* и на общем для всех позиций продольном суппорте *5*, перемещающемся по направляющей гильзе *4*. Этот суппорт выполнен в виде многогранника с числом граней, равным количеству позиций, на которых и располагаются державки с инструментами. Заготовка обрабатывается различными группами режущих инструментов при последовательном прохождении шпинделя через все позиции автомата. На последней позиции происходят отрезка готовой детали и подача прутка для изготовления следующей детали. Все операции технологического процесса разделяются и группируются по позициям так, чтобы время их выполнения на каждой позиции было одинаковым и минимальным. Обработка ведется одновременно на всех позициях, и поэтому готовая деталь будет сниматься с автомата после каждого поворота шпиндельного блока на одну позицию.

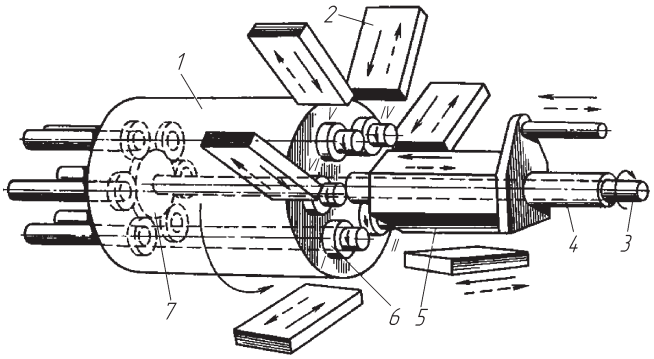


Рис. 3.19. Схема работы многошпиндельного токарного автомата

В отличие от одношпиндельных автоматов, холостые ходы здесь выполняются не последовательно, чередуясь с рабочими ходами, а все сразу и, кроме того, при ускоренном вращении распределительного вала. Этот принцип обеспечивает более высокую производительность обработки.

Автоматы, на которых заготовки обрабатываются по схеме на рис. 3.19, получили название *автоматов последовательного действия.* Восьмишпиндельные автоматы этого типа имеют две позиции, на которых может производиться подача и зажим материала, и соответственно поворот шпиндельного блока может осуществляться сразу на две позиции. Это позволяет последовательно обрабатывать заготовки простых деталей на половине позиций и снимать с автомата за цикл работы сразу две готовые детали.

Шестишпиндельные автоматы также могут выпускаться для параллельной обработки двух потоков заготовок, однако, в отличие от восьмишпиндельных, они не могут быть перенастроены на однопоточный режим.

В *автоматах параллельного действия* заготовки на всех позициях обрабатываются только одной группой инструментов, и поэтому за цикл работы на них получают столько готовых деталей, сколько рабочих позиций имеет автомат. Назначение и область их применения те же, что и у одношпиндельных фасонно-отрезных автоматов.

В настоящее время в промышленности эксплуатируется большая гамма отечественных многошпиндельных автоматов (табл. 3.4). Несмотря на большое разнообразие моделей и модификаций многошпиндельных автоматов, их устройство и компоновка практически одинаковы (рис. 3.20). Основные узлы автомата крепятся на станине *1*, которая одновременно является резервуаром для смазки и охлаждающей жидкости. Станина, передняя стойка со шпиндельным блоком *4* и поперечными суппортами *8*, траверса *5* с распределительным валом и задняя стойка *6* с коробкой передач образуют замкнутую раму, обеспечивающую высокую жесткость всей конструкции. Вращение шпинделям передается от коробки передач центральным валом, проходящим внутри цилиндрической направляющей продольного суппорта *7*. Направляющие трубы *3* с прутками поддерживаются дополнительной стойкой *2*.

На рис. 3.21 приведена кинематическая схема шестишпиндельного автомата мод. 1Б240-6К, состоящая из нескольких кинематических цепей.

3.4. Технические характеристики многошпиндельных токарных автоматов

Параметр	мод. 1216-4К	мод. 1Б240-4К	мод. 1Б290-4К	мод. 1216-6К	мод. 1Б240-6К	мод. 1Б290-6К
Диаметр обрабатываемого прутка, мм, не более:	20	50	80	16	40	100
Длина подачи прутка, мм, не более	100	180	200	100	180	250
Число шпинделей	4	4	4	6	6	6
Ход поперечных суппортов, мм, не более:						
нижних	40	80	125	40	80	125
верхних	40	80	100	40	80	100
заднего среднего	—	—	—	40	80	125
отрезного	—	—	—	30	50	65
Ход продольного суппорта, мм	80	180	275	80	180	275
Частота вращения шпинделей, мин$^{-1}$, не более	279… 1995	125… 1230	50…508	370… 2650	140… 1600	70…660
Подача, мм/об, не более:						
продольного суппорта	1,7	6,6	8,4	1,7	6,6	5,9
поперечных суппортов	0,4	0,33	2,0	0,4	3,3	1,4
Длительность быстрого хода, с	1,5	2,5	3,7	1,5	2,0	3,7
Мощность главного привода, кВт	7,5	13	30…40	7,5	15	30…40
Масса, кг	4000	10 000	20 900	4000	6500	22 000

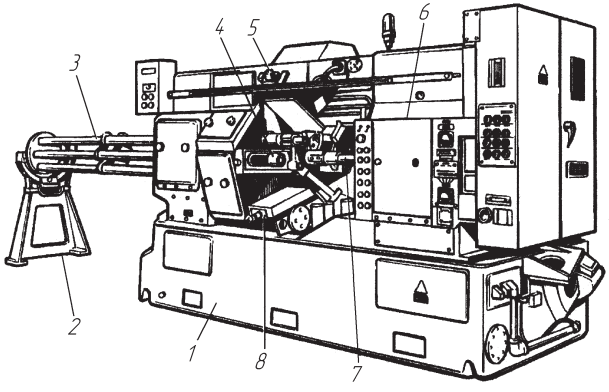


Рис. 3.20. Общий вид шестишпиндельного токарного автомата

Цепь главного привода: от электродвигателя *1* вращение передается через клиноременную передачу со шкивами *2—3*, зубчатые колеса *4—5*, *a,b,c,d* на центральный вал *IV* и далее через колеса *6—7* одновременно шести рабочим шпинделям *XXI*.

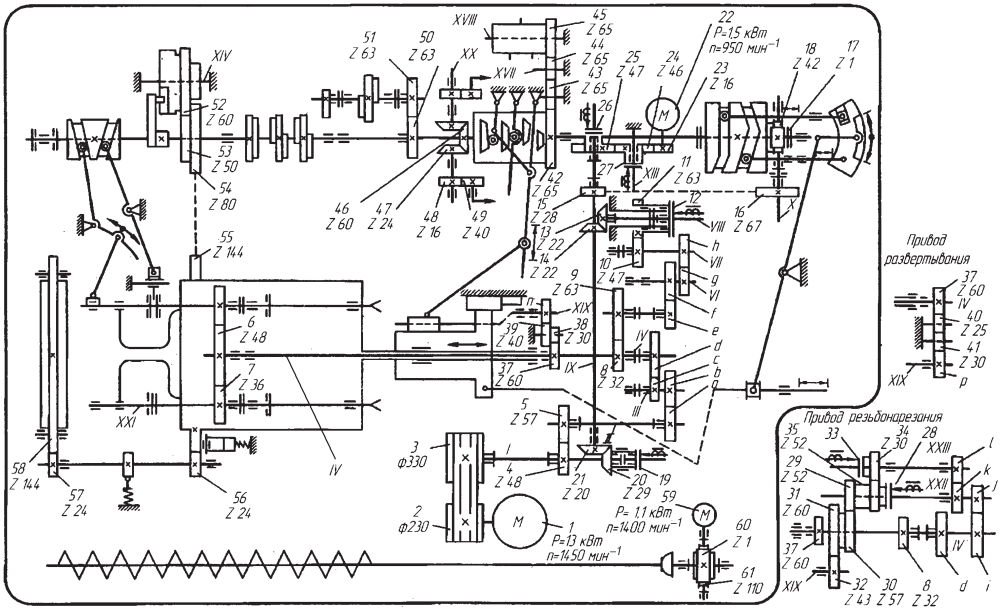


Рис. 3.21. Кинематическая схема шестишпиндельного автомата мод. 1Б240-6К

Частота вращения шпинделей определяется следующим уравнением кинематического баланса:

$$1450 \cdot \frac{230}{330} \cdot \frac{48}{57} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{48}{36} = n_{\text{шп}}.$$

Отсюда формула настройки гитары *a, b, c, d*

$$\frac{a}{b}\,\frac{c}{d} = 8{,}8 \cdot 10^{-4} n_{\text{шп}}.$$

Привод вращения распределительного вала осуществляется тремя разными кинематическими цепями соответственно во время рабочего хода, холостого хода и при наладке автомата.

При рабочем ходе он приводится во вращение от центрального вала *IV* через зубчатые колеса *8—9*, *e, f, g, h, 10—11*, электромагнитную муфту *12*, колеса *13—14*, *15—16* и червячную передачу *17—18*. Частота его вращения при этом определяется следующим уравнением кинематического баланса:

$$1450 \cdot \frac{230}{330} \cdot \frac{48}{57} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{32}{63} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h} \cdot \frac{47}{63} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{28}{67} \cdot \frac{1}{42} = n_{\text{р.в}}.$$

Отсюда формула настройки гитары *e, f, g, h* с учетом аналогичной формулы предыдущей гитары

$$\frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h} = \frac{354}{n_{\text{шп}}} n_{\text{р.в}}.$$

При холостом ходе включается муфта *19*, а муфта *12* выключается и распределительный вал получает быстрое вращение по укороченной цепи от вала *I* через зубчатые колеса *20—21*, *15—16* и червячную передачу *17—18*. Частота ускоренного вращения распределительного вала равна

$$1450 \cdot \frac{230}{330} \cdot \frac{29}{20} \cdot \frac{28}{67} \cdot \frac{1}{42} \approx 14{,}6 \text{ мин}^{-1}.$$

При постоянных кулачках угол поворота распределительного вала при выполнении холостых ходов всегда один и тот же и равен для данного автомата 215° (рис. 3.28). Таким образом, продолжительность холостого хода составляет

$$t_{\text{х.х}} = \frac{60}{14{,}6} \cdot \frac{215^\circ}{360^\circ} \approx 2{,}5 \text{ с}.$$

Переключение муфт *12* и *19* осуществляется кулачками командоаппарата, барабан которого закреплен на валу *XVIII*, получающем вращение непосредственно от распределительного вала через колеса *42—43—44—45* с общим передаточным отношением 1:1. По окончании холостого хода распределительный вал резко затормаживается до скорости рабочего вращения путем подачи на электромагнитную муфту *12* напряжения удвоенной величины.

При наладке автомата распределительный вал приводится во вращение от отдельного электродвигателя *22* через зубчатые колеса *23—24—25*, электромагнитную муфту *26*, колеса *15—16* и червячную передачу *17—18*. При этом муфты *12* и *19* выключены, а затормаживание распределительного вала до полной остановки осуществляется муфтой *27*. При необходимости распределительный вал можно повернуть вручную с помощью ключа за конец вала червяка *17*.

Привод вращения резьбонарезного шпинделя (см. дополнительную схему) включает в себя две цепи — нарезания и свинчивания, переключение которых осуществляется электромагнитными муфтами *28* и *33*. В обоих случаях резьбонарезной шпиндель вращается в одном направлении с рабочим шпинделем и нарезание происходит за счет:

- отставания инструмента от заготовки (правая резьба), тогда переключением на другую цепь с быстрым вращением инструмента обеспечивается свинчивание;
- обгона инструментом заготовки (левая резьба), тогда для свинчивания используется цепь с меньшей частотой его вращения.

Разность между частотами вращения шпинделей заготовки $n_{\text{шп}}$ и инструмента $n_{\text{ин}}$ соответствует частоте вращения инструмента, определяемой скоростью резания при резьбонарезании $n_{\text{рез}}$, т. е. $n_{\text{рез}} = |n_{\text{шп}} - n_{\text{ин}}|$.

При правой резьбе цепь нарезания проходит от центрального вала *IV*, через колеса *i, j, k, l*, электромагнитную муфту *33*, колеса *34—35*, *29—30*, *31—32* до приводной втулки *XIX* резьбонарезного шпинделя с метчиком или плашкой. При этом муфта *28* должна быть выключена.

Уравнение кинематического баланса

$$n_{\text{шп}} \cdot \frac{36}{48} \cdot \frac{i}{j} \cdot \frac{k}{l} \cdot \frac{30}{52} \cdot \frac{52}{57} \cdot \frac{60}{43} = n_{\text{ин}}, \text{ откуда } \frac{i}{j} \cdot \frac{k}{l} \approx 1{,}8 \frac{n_{\text{ин}}}{n_{\text{шп}}}.$$

При отключении муфты *33* и включении муфты *28* инструментальный шпиндель начнет вращаться с частотой свинчивания $n_{\text{ин. св}}$ от цепи: центральный вал *IV*, колеса *i, j,* муфта *28*, колеса *29—30*, *31—32* и втулка *XIX*.

При этом уравнение кинематического баланса будет

$$n_{\text{шп}} \cdot \frac{36}{48} \cdot \frac{i}{j} \cdot \frac{52}{57} \cdot \frac{60}{43} = n_{\text{ин.св}}, \text{ откуда } \frac{i}{j} \approx 1{,}05 \frac{n_{\text{ин.св}}}{n_{\text{шп}}}.$$

Из приведенных формул настройки пар сменных колес следует, что частоты вращения инструмента при свинчивании и нарезании правых резьб соотносятся как

$$\frac{n_{\text{ин.св}}}{n_{\text{шп}}} = 1{,}7 \frac{l}{k},$$

а для левых резьб такое соотношение имеет место между частотами, наоборот, при нарезании и свинчивании инструмента. При нарезании резьбы самооткрывающейся головкой настраивается только цепь нарезания.

Привод вращения быстросверлильного шпинделя осуществляется по цепи от центрального вала *IV*, через колеса *37—38*, *39—n* на приводную втулку *XIX*, передающую вращение инструментальному шпинделю с закрепленным в нем сверлом. Инструмент и заготовка вращаются навстречу друг другу, и частота вращения сверла $n_{\text{рез}}$, определяемая скоростью резания, будет определяться суммой $n_{\text{рез}} = n_{\text{шп}} + n_{\text{ин}}$.

Частота вращения быстросверлильного шпинделя $n_{\text{ин}}$ определяется уравнением

$$n_{\text{ин}} = n_{\text{шп}} \cdot \frac{36}{48} \cdot \frac{60}{30} \cdot \frac{40}{Z_n}.$$

Отсюда число зубьев сменного колеса *n*

$$Z_n = 60 \frac{n_{\text{шп}}}{n_{\text{ин}}}.$$

Привод вращения инструментального шпинделя при развертывании (см. дополнительную схему справа на рис. 3.21) обеспечивает вращение инструмента в одном направлении с заготовкой, но с меньшей скоростью, по цепи от центрального вала *IV* через колеса *37—40—41—p* на приводную втулку *XIX*.

При этом $n_{\text{рез}} = n_{\text{шп}} - n_{\text{ин}}$, а число зубьев сменного колеса *p*

$$Z_p = 45 \frac{n_{\text{шп}}}{n_{\text{ин}}}.$$

Привод шнекового транспортера для уборки стружки осуществляется от отдельного электродвигателя *59* через червячную передачу *60—61*.

Основные узлы и механизмы автомата. *Шпиндельный блок* (рис. 3.22) представляет собой барабан, в расточенных отверстиях которого по окружности смонтировано шесть рабочих шпинделей с механизмами подачи и зажима прутков. Он установлен в передней стойке на двух опорных поверхностях, к которым он после поворота прижимается рычагами механизма фиксации.

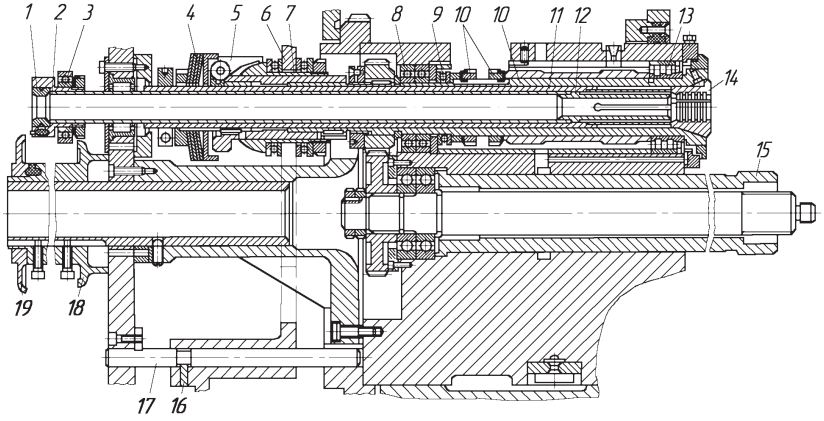


Рис. 3.22. Шпиндельный блок автомата мод. 1Б240-6К

В качестве передней опоры шпинделей *10* применен двухрядный роликовый подшипник *13*, задней — два радиально-упорных шарикоподшипника *8*. Осевая нагрузка воспринимается упорным шарикоподшипником *9*. Опоры собраны с предварительным натягом.

В центральное отверстие блока запрессована круглая направляющая *15* продольного суппорта, внутри которой размещен центральный приводной вал. Зажим прутка осуществляется затягиванием в коническую расточку шпинделя зажимной цанги *14* с помощью свинченной с ней трубы *11* в результате поворота рычагов *5* от смещения влево муфты *7*. При выходе больших плеч рычажков *5* на цилиндрический участок муфты *7* положение вилки *6* на направляющей скалке *17* фиксируется защелкой *16*. Тарельчатые пружины *4* обеспечивают необходимое усилие зажима и выполняют одновременно функции упругого компенсатора, позволяющего зажимать прутки с переменным в пределах допуска диаметром.

Подача прутка производится перемещением подающей цанги *12*, свинченной с трубой *2*, кулачковым механизмом подачи прутка (на рисунке не показан) через обойму *3* с поддерживающим кольцом *1*. Перемещение трубы с цангой вперед ограничивается диском *18*, а выпадению ее из шпинделя при отсутствии прутка препятствует диск *19*.

Продольный суппорт (рис. 3.23) представляет собой шестигранную каретку *4*, которая перемещается по пустотелой гильзе *7* и удерживается от проворота вокруг ее оси ползуном *6*, скользящим по направляющей планке *5*, закрепленной на траверсе автомата. Клиньями *9* и *10* устанавливается окончательное положение граней каретки по отношению к рабочим шпинделям, а также регулируется рабочий зазор между ползуном *6* и планкой *5*. Подача суппорта осуществляется рычагом *8* через шток *1*, соединенным с кареткой *4* шарниром *3*.

Такое соединение обусловлено перекосом гильзы *7* при подъеме шпиндельного блока перед его поворотом. Для точного позиционирования в крайнем рабочем положении применяется жесткий упор *2*.

Привод подачи продольного суппорта (рис. 3.24) позволяет изменять величину рабочего хода при использовании постоянных кулачков на распределитель-

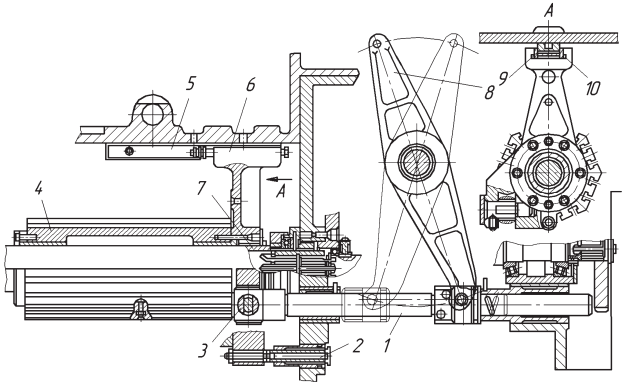


Рис. 3.23. Продольный суппорт шестишпиндельного автомата

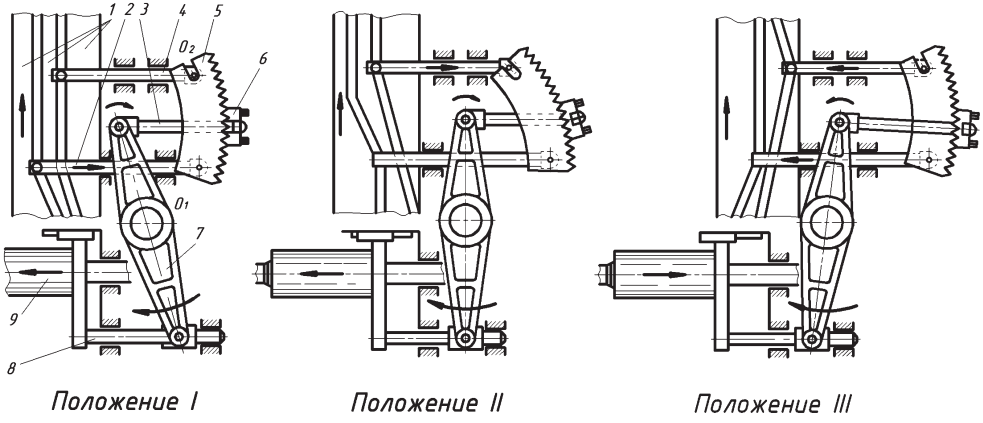


Рис. 3.24. Привод подачи продольного суппорта

ном валу. Он включает в себя: спаренный барабанный кулачок *1*, толкатели *2* и *4*, рычаг *5*, зубчатую колодку *6*, шарнирно связанную с шатуном *3*, рычаг *7* и тягу *8*. Длина рабочего хода суппорта *9* настраивается перестановкой колодки *6* по зубчатому сектору рычага *5*, который поворачивается вокруг осей O_1 и O_2 в зависимости от перемещения толкателей *4* и *2*. Положение *I* соответствует началу быстрого подвода, положение *II* — началу рабочего хода и положение *III* — началу быстрого отвода суппорта.

Поперечные суппорты (рис. 3.25) шестишпиндельного автомата смонтированы: верхние *1* и *2* — на траверсе автомата, а средние *3* и *6* и нижние *4* и *5* — на торце корпуса шпиндельного блока. Средний поперечный суппорт *6* предназначен для установки отрезного резца и по своей конструкции несколько отличается от остальных суппортов. Вблизи него расположен поворотный упор *7*. Подача суппортов осуществляется от индивидуальных кулачков, закрепленных на распределительном валу, причем для верхних суппортов они сменные, а для остальных — постоянные.

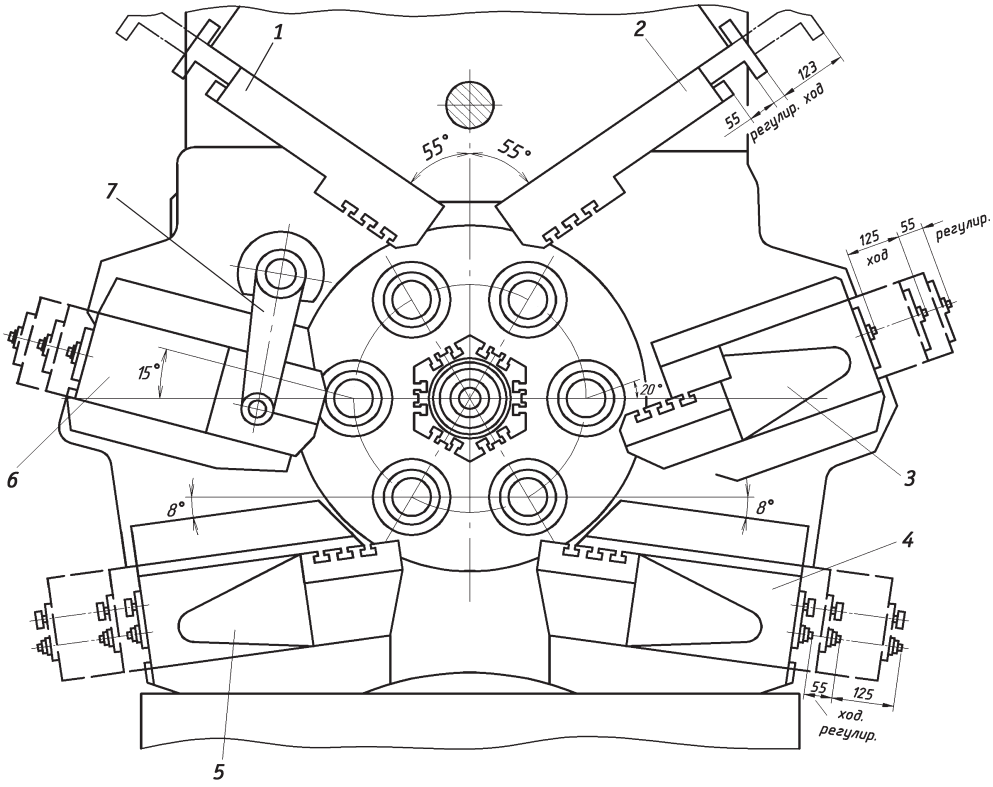


Рис. 3.25. Схема расположения поперечных суппортов

Механизм поворота шпиндельного блока показан на рис. 3.26. При ускоренном вращении распределительного вала *1* водило *3* с роликом *2* поворачивает четырехпазовый мальтийский крест на 90°, что обеспечивает через зубчатые передачи 60/50 и 80/144 поворот шпиндельного блока на 60°. Мальтийский крест и зубчатое колесо $Z = 60$ смонтированы на диске *5,* и их взаимное угловое положение регулируется эксцентриком на оси *4*, входящим в радиальный паз зубчатого колеса. Это регулирование позволяет менять конечное положение шпиндельного блока после его поворота, что необходимо для наладки и дальнейшей надежной работы фиксирующего механизма.

В ложе шпиндельного блока выполнены карманы, в которые перед поворотом подается масло под давлением, и блок всплывает на 0,08…0,1 мм. Подъем блока контролируется индикатором *6*, а два ролика *7* ограничивают его перемещение в горизонтальной плоскости как при подъеме, так и при повороте. В зафиксированном положении шпиндельного блока зазор между роликами *7* и цилиндрическим пояском колеса $Z = 144$ регулируется эксцентричными осями *8* и устанавливается равным 0,02…0,03 мм.

Механизм фиксации шпиндельного блока приведен на рис. 3.27. Его работа сблокирована с работой поворотного механизма так, что началу поворота шпиндельного блока предшествует его расфиксация, а после поворота следует фиксация его положения.

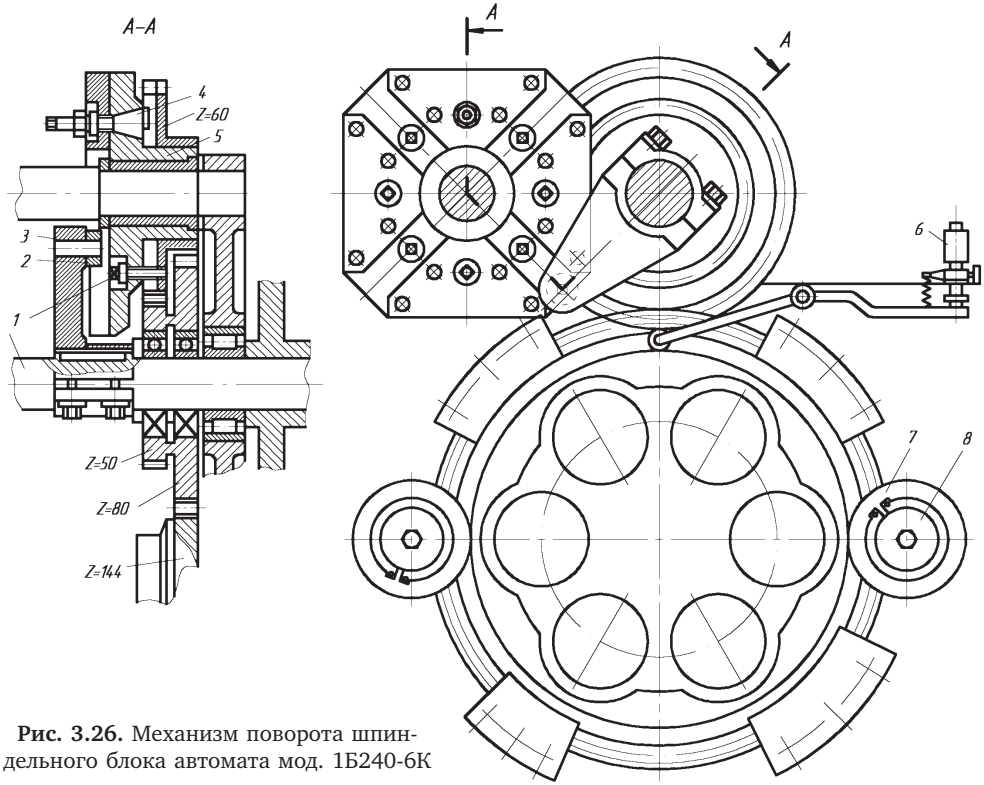


Рис. 3.26. Механизм поворота шпиндельного блока автомата мод. 1Б240-6К

На участке *А* фиксирующего кулачка *4* распределительного вала происходит поворот рычага *6* против часовой стрелки, в результате чего тягой *7* поворачивается рычаг *10*, который через тяги *8* и *3* выводит нижние концы сначала рычага *11*, а затем и рычага *1* из замков *12* шпиндельного блока. После этого происходит поворот блока, во время которого ролик *5* скользит по цилиндрическому участку кулачка *4*. В конце поворота шпиндельного блока кулачок *4* своим участком *Б* поворачивает рычаг *6* по часовой стрелке и в таком же направлении рычаг *10*. Под действием пружин *2* и *9* рычаги *1* и *11* западают

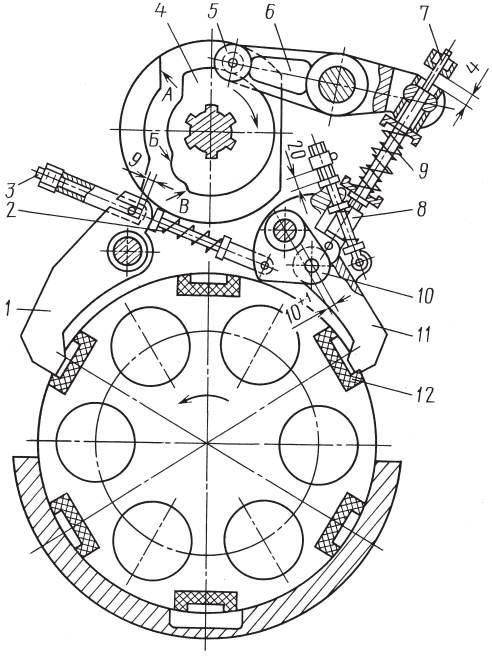


Рис. 3.27. Механизм фиксации шпиндельного блока автомата мод. 1Б240-6К

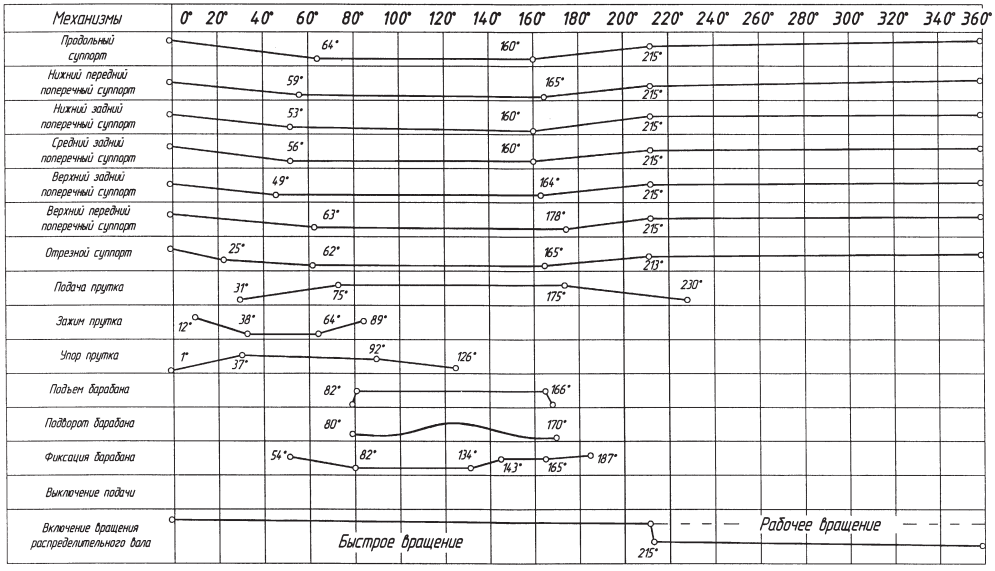


Рис. 3.28. Циклограмма работы автомата мод. 1Б240-6К

в очередные замки *12*, осуществляя предварительную фиксацию шпиндельного блока, при которой между опорными площадками рычага *1* и замка *12* образуется зазор 1…1,5 мм, настраиваемый механизмом поворота шпиндельного блока. Окончательная фиксация происходит на участке *В* кулачка *4*, при взаимодействии с которым рычаг *6* дополнительным поворотом рычага *10* опускает рычаг *11*, в результате чего шпиндельный блок совершает поворот в обратном направлении (по часовой стрелке) до упора плоскости замка *12* в опорную площадку рычага *1*.

Показанные на схеме регулируемые зазоры 4, 20 и 9 мм обеспечивают отмеченную выше последовательность работы рычагов *1* и *11*, а также изменяют в нужном направлении усилия пружин во время фиксации и расфиксации шпиндельного блока.

Координация работы основных узлов и механизмов автомата в течение одного цикла показана на циклограмме, приведенной на рис. 3.28.

3.6. Одношпиндельные токарные полуавтоматы

Одношпиндельные токарные полуавтоматы предназначены для обработки в массовом и крупносерийном производстве многоступенчатых валов, ступенчатых втулок, блоков зубчатых колес и других подобных деталей из штучных заготовок из различных сталей, цветных металлов и сплавов. Их можно разбить на три группы: многорезцовые, копировальные и многорезцово-копировальные.

Обработка заготовок *2* на многорезцовом полуавтомате (рис. 3.29) осуществляется сравнительно большим числом одновременно работающих по одинаковым траекториям резцов, установленных на продольном *12* и поперечном *3* суппортах. Установка заготовки в центрах передней *1* и задней *4* бабок, пуск станка

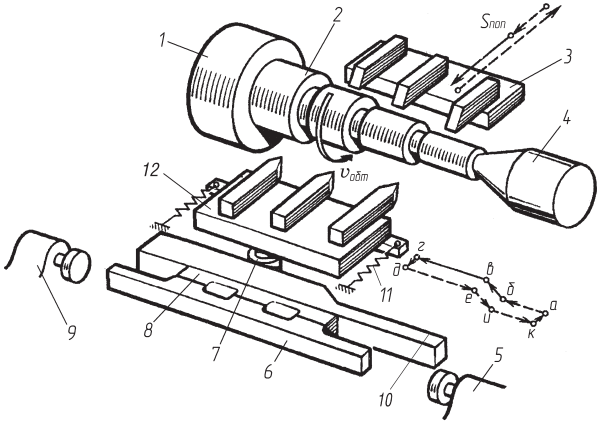


Рис. 3.29. Схема работы многорезцового полуавтомата

и снятие готовой детали производятся вручную, а подвод суппортов к заготовке, ее обработка и возврат суппортов в исходное положение — автоматически. Суппорт *12* перемещается вместе с планками *6* и *8* относительно неподвижной линейки *10*, при этом ролик *7* перекатывается по линейке *10* и постоянно поджимается к ней пружинами *11*.

Цикл работы продольного суппорта следующий: быстрый подвод суппорта (участок *а—б*), врезание резцов (участок *б—в*), когда ролик *7* катится по наклонному участку линейки *10*, обработка заготовки с подачей $S_{пр}$ (участок *в—г*), отскок суппорта (участок *г—д*), возвращение суппорта в исходное положение (участки *д—е*, *е—и*, *и—к*) и перемещение (подскок) суппорта вперед (участок *к—а*). Отскок-подскок (примерно на 1 мм) суппорта осуществляется с помощью планок *6* и *8* при их смещении относительно друг друга, когда происходит смена контактирующих пар поверхностей с пары «выступ—выступ» на пару «выступ—впадина» и наоборот. Отскок в конечной точке обработки настраивается перестановкой упора *9*, а подскок — в исходном положении упора *5*. При установке на продольном суппорте линейки *10* с фасонным профилем на таком полуавтомате можно обрабатывать заготовки с фасонными и коническими поверхностями.

Цикл работы поперечного суппорта *3* проще и включает в себя: быстрый подвод, обработку заготовки на рабочей подаче $S_{поп}$ и быстрый отвод в исходное положение. Привод этого суппорта осуществляется от постоянного барабанного кулачка (на рис. 3.29 не показан), получающего вращение от продольного суппорта при его перемещении вдоль оси заготовки. По компоновке многорезцовые полуавтоматы аналогичны универсальным токарным станкам.

На копировальном полуавтомате (рис. 3.30) заготовка *16*, установленная в центрах и зажатая в патроне, обрабатывается одним резцом *5*, закрепленным на копировальном суппорте *3*, который в поперечном направлении перемещается по направляющим каретки *2* гидроцилиндром *4*, а в продольном — вместе с кареткой по направляющим станка гидроцилиндром *1*. Пиноль *9* задней бабки постоянно поджимается гидроцилиндром *10*.

Привод поперечной подачи суппорта следящий. Он управляется копиром *8* через щуп *7* копировальной головки *6*. Профиль наконечника щупа точно соот-

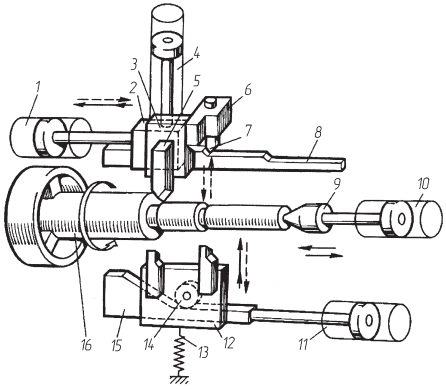


Рис. 3.30. Схема работы копировального полуавтомата

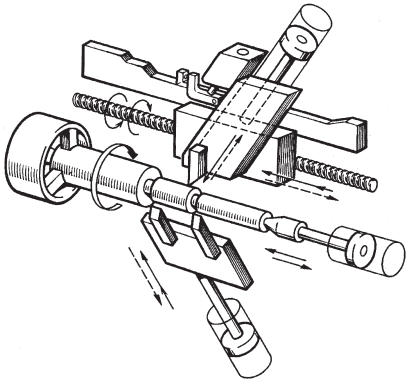


Рис. 3.31. Схема работы многорезцово-копировального полуавтомата

ветствует профилю резца *5*, а размеры рабочего профиля копира точно воспроизводят чертежные размеры контура изготовляемой детали. Прорезка канавок, снятие фасок и другие операции, которые не могут быть выполнены на заготовке копировальным суппортом, производятся резцами, установленными на поперечном суппорте *12*, которых может быть у полуавтомата один или два. Привод поперечного суппорта осуществляется через ролик *14* от ползуна (кулака) *15* при его перемещении гидроцилиндром *11*. Обратный ход суппорта обеспечивается пружиной *13*.

Многорезцово-копировальные полуавтоматы (рис. 3.31) объединяют технологические возможности многорезцовых и копировальных полуавтоматов, и принцип их работы совпадает с принципом работы последних. Полуавтоматы этого типа имеют два накладных копировальных суппорта с автономными следящими системами, управляемыми отдельными копирами. Продольная (задающая) подача не имеет прямой зависимости от поперечной подачи и осуществляется от механического привода с конечной передачей ходовой винт—гайка. Поперечные суппорты имеют независимые приводы и перемещаются непосредственно от гидроцилиндров без промежуточных кулачковых механизмов.

На рис. 3.32 приведены типовые схемы обработки на полуавтоматах этого типа. Обработка основного профиля заготовки с копировального суппорта одним резцом (рис. 3.32,*а*) может проводиться от двух копиров (двухпроходной цикл), автоматически сменяемых в рабочем цикле.

По компоновке рассматриваемые полуавтоматы близки к копировальным, и основное их различие состоит в пространственном расположении поперечных направляющих суппортов (см. рис. 3.30 и 3.31). Поперечные направляющие копировального суппорта не перпендикулярны линии центров, а наклонены к ней под углом 60° (особенность однокоординатной следящей системы с независимой продольной подачей, позволяющая проводить обработку торцовых поверхностей), а направляющие поперечных суппортов расположены в плоскости, составляющей 40° с вертикальной плоскостью, что улучшает отвод стружки из зоны резания.

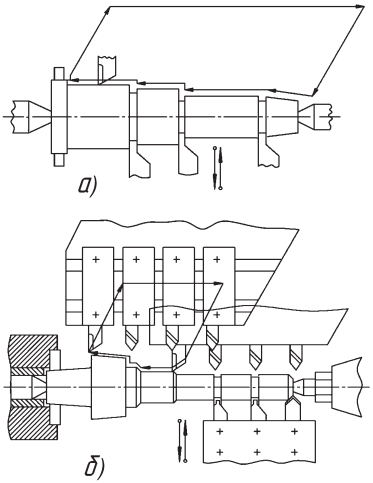


Рис. 3.32. Схема обработки заготовки на многорезцово-копировальных полуавтоматах: *а* — одним резцом; *б* — блоком резцов; *в* — с двух копировальных суппортов

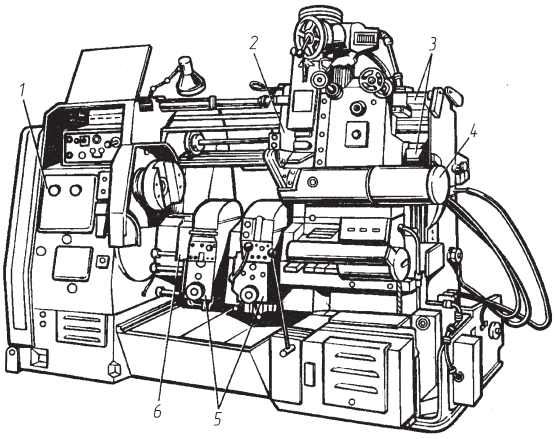


Рис. 3.33. Общий вид одношпиндельного токарного копировального полуавтомата мод. 1722

Общий вид одношпиндельного токарного копировального полуавтомата показан на рис. 3.33. Основные узлы и механизмы полуавтомата смонтированы на станине *6* рамной конструкции, опирающейся правой частью своего основания на гидробак, а левой — на моторную тумбу, в которой размещены электродвигатель привода главного движения и резервуар для охлаждающей жидкости. С передней стороны станины на верхних *3* и нижних направляющих, расположенных в плоскости под углом 15° к вертикали, смонтированы соответственно гидрокопировальный суппорт *2* и два поперечных суппорта *5*, а на правой и левой стойках — шпиндельная бабка *1* и задняя бабка с гидрозажимом *4*.

На рис. 3.34 приведена *гидрокинематическая схема* копировального полуавтомата. Вращение шпинделя осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу, гитару сменных зубчатых колес *A* и *B* и два двойных блока, обеспечивающих в совокупности 12 ступеней частот вращения шпинделя. Ускоренная и рабочие подачи копировального и поперечных суппортов, а также подача пиноли задней бабки осуществляются гидравлическим приводом. Установка суппортов и задней бабки на заданный диаметр и длину обработки производится вращением соответствующих ходовых винтов.

На полуавтомате применена гидравлическая следящая система с зависимой продольной подачей, которая работает следующим образом: масло от насоса поступает по трубопроводам *6* и *10* в следящий золотник *8*, связанный тягой *11* с поршнем цилиндра *12*, и правую полость гидроцилиндра *1*, который осуществляет продольную подачу копировального суппорта и одновременно следящего золотника относительно неподвижного копира *2*. Среднее положение золотника

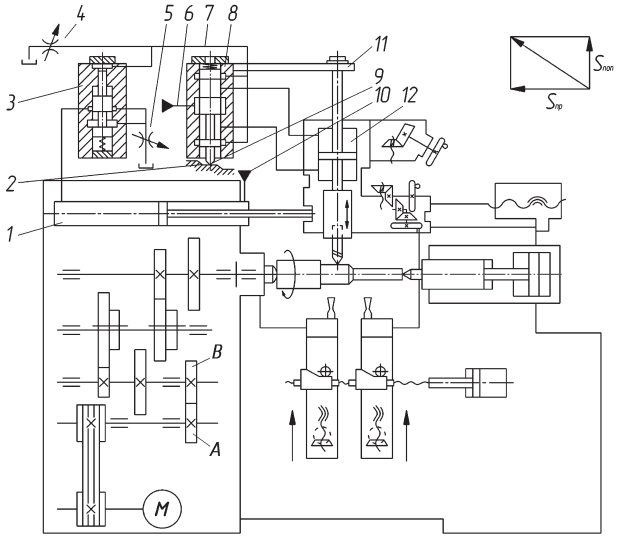


Рис. 3.34. Гидрокинематическая схема токарного копировального полуавтомата

(показано на схеме), при котором доступ масла в обе полости цилиндра *12* перекрыт, соответствует обработке на заготовке цилиндрического участка. Когда щуп *9*, скользя по копиру *2*, перейдет на его наклонный участок и сместит золотник относительно его корпуса вверх, откроется путь маслу от насоса в нижнюю полость цилиндра и суппорт с резцом начнет перемещение вверх, т.е. в том же, что и золотник направлении. Масло, вытесняемое из верхней полости цилиндра, пройдя через золотник, поступит в трубопровод *7*, а далее в регулятор *3* и через дроссель *4* — в бак гидросистемы.

Суппорт и корпус золотника жестко связаны между собой планкой *11*, благодаря которой обеспечивается процесс слежения, так как длина хода суппорта с резцом будет точно такой же, каким было первоначальное смещение золотника относительно его корпуса. Процесс слежения протекает аналогичным образом и при обратном направлении смещения золотника, когда верхняя полость цилиндра будет соединена с насосом, а нижняя — со сливом.

При переходе щупа с прямолинейного участка на наклонный или при увеличении угла наклона профиля копира появляется (или увеличивается) поперечная подача $S_{поп}$, а следовательно, и результирующая подача вдоль профиля. Для поддержания профильной подачи постоянной или изменяющейся по определенному закону на сливе масла из цилиндра продольной подачи *1* установлен регулятор *3*, верхняя камера которого подключается к сливному трубопроводу следящей системы. С увеличением угла наклона профиля копира увеличивается скорость поперечного перемещения и возрастает объем масла, вытесняемый из противоположной полости цилиндра *12*. В результате этого повышается давление в сливном трубопроводе *7* и в верхней камере регулятора *3*, золотник которого опускается и уменьшает площадь проходного сечения на сливе масла из цилиндра и соответственно продольную подачу. Необходимый закон изменения результирующей подачи обеспечивается регулированием дросселей *4* и *5*.

3.7. Многошпиндельные токарные полуавтоматы

Многошпиндельные токарные полуавтоматы предназначены для изготовления деталей из штучных литых, кованых и штампованных заготовок из различных марок сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов. Большинство деталей, изготавливаемых на этих полуавтоматах, имеет длину меньше диаметра, и поэтому они закрепляются в патронах. Многошпиндельные полуавтоматы выпускаются с горизонтальным и вертикальным расположением рабочих шпинделей.

Горизонтальные полуавтоматы строятся на базе аналогичных моделей многошпиндельных автоматов, и поэтому большинство их узлов и механизмов имеет такую же конструкцию и рабочие характеристики. Значительное отличие в конструкции имеет только узел рабочего шпинделя, так как съем готовой детали и установка заготовки в патроне осуществляются вручную. Для этого в конструкции всех шпинделей полуавтомата предусмотрена возможность выключения их вращения и торможения в позиции загрузки (*IV, VI*, см. рис. 3.19, или *VIII* соответственно в четырех-, шести- и восьмишпиндельных полуавтоматах), а также установлены гидрофицированные механизмы зажима и разжима заготовок. Поперечный суппорт в позиции загрузки не устанавливается.

На рис. 3.35 показан шпиндельный блок шестишпиндельного горизонтального полуавтомата, конструкция которого, за исключением шпиндельного узла, почти полностью повторяет конструкцию базовой модели автомата (сравните рис. 3.22). В передней опоре шпинделя установлены двухрядный роликовый подшипник *13* и упорно-радиальный шарикоподшипник *12*, а в задней — два радиально-упорных шарикоподшипника *9*.

Шпиндель получает вращение от центрального зубчатого колеса *15* через колесо *7* и фрикционную муфту *6*. Торможение шпинделя осуществляется фрикционной муфтой *3*. Заготовка зажимается в патроне *14* при смещении тяги *11* влево пакетом тарельчатых пружин *10*, а разжим производится поршнем *4*, шток *8* которого свинчен с тягой *11*. Включение-выключение фрикционных муфт *3* и *6* осуществляет плавающий цилиндр *5*. При подаче масла в левую полость цилиндра поршень *4* смещается вправо, сжимая пакет тарельчатых пружин и разжимая заготовку, а цилиндр *5* — влево, выключая приводную муфту *6* и включая тормозную муфту *3*. Переключение муфт перед началом рабочего цикла производится подачей масла под давлением в правую полость цилиндра. Масло в полости цилиндров всех шпинделей подводится через центральный золотник *1*, поворотом которого с помощью рукоятки *2* можно осуществить разжим заготовки и выключение-включение вращения рабочего шпинделя на любой позиции полуавтомата. Наладка этих полуавтоматов практически не отличается от наладки базовых моделей горизонтальных многошпиндельных автоматов.

Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы по принципу своей работы могут быть параллельного и последовательного действия. Схема работы полуавтомата параллельного действия приведена на рис. 3.36. Карусель *1* (рис. 3.36, *а*) полуавтомата с расположенными по окружности рабочими шпинделями и индивидуальными для каждой позиции суппортами *2* медленно поворачивается относительно основания *5* вокруг колонны *4* и установленной на ней группы кулачков *3*.

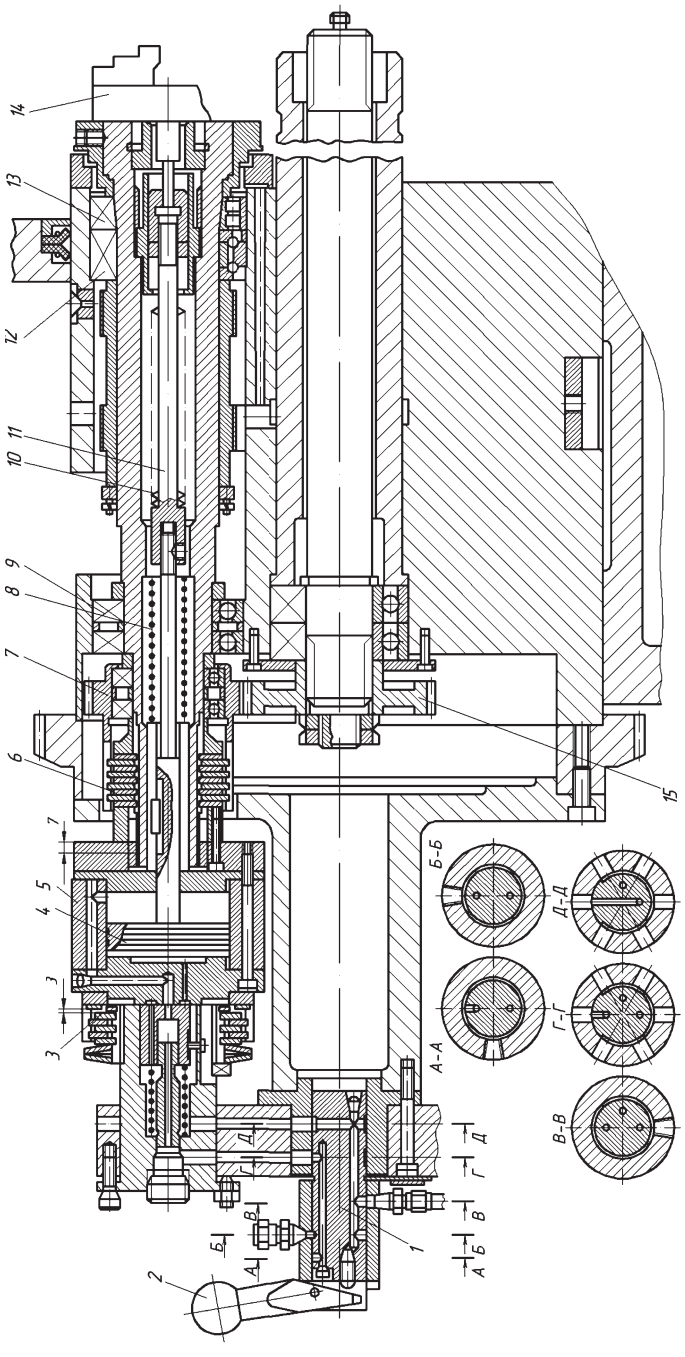


Рис. 3.35. Шпиндельный блок полуавтомата мод. 1Б240П-6К

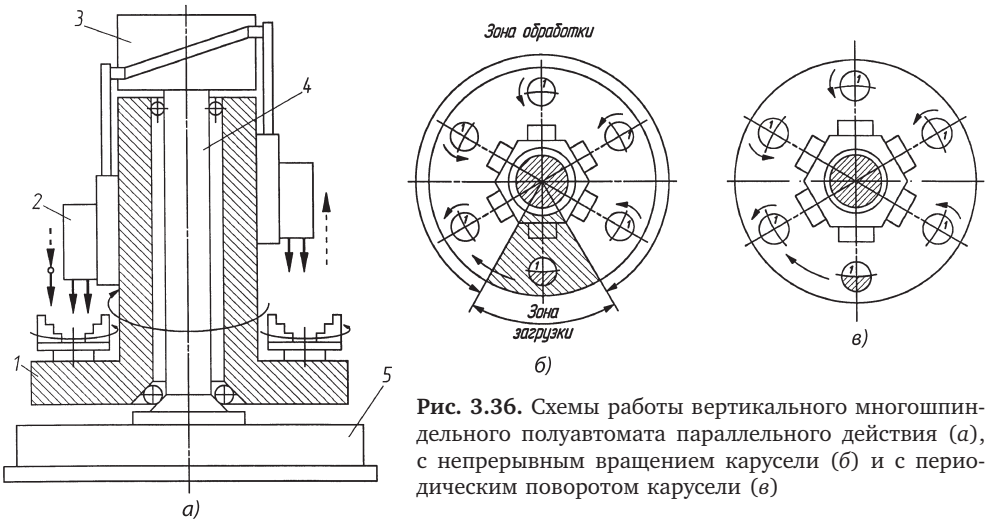


Рис. 3.36. Схемы работы вертикального многошпиндельного полуавтомата параллельного действия (*а*), с непрерывным вращением карусели (*б*) и с периодическим поворотом карусели (*в*)

Обработка заготовки от начала до конца проводится на одной позиции и только одной группой инструментов за время почти полного оборота карусели. Готовая деталь снимается с полуавтомата после каждого поворота карусели на одну позицию. Съем готовой детали и установка заготовки производятся на этих полуавтоматах или на ходу (рис. 3.36, *б*), во время прохождения зоны загрузки, или с остановкой в данной позиции (рис. 3.36, *в*). В позиции загрузки (зоне) шпиндель не вращается, а суппорт отходит в верхнее положение. Для облегчения условий работы в этой зоне предусматривается специальное подъемное устройство.

Технологические возможности полуавтоматов этого типа ограничены, и поэтому на них обрабатываются более простые заготовки. На рис. 3.37 показана схема обработки заготовки на шестишпиндельном полуавтомате параллельного действия, у которого на пяти позициях производятся одни и те же операции группой инструментов из 15 резцов, установленных на резцовых головках.

Обработка заготовок на вертикальных полуавтоматах последовательного действия (рис. 3.38) проводится несколькими группами инструментов, закрепленных на суппортах *2*, которые размещены на гранях неподвижной колонны *3*. Заготовки крепятся в патронах *1* вращающихся вертикальных шпинделей, расположенных по окружности в общем шпиндельном блоке в виде поворотного стола *4*, который периодическим поворотом относительно неподвижных основания *5* и колонны *3* осуществляет смену позиций. За один оборот стола заготовка последовательно проходит через все позиции, подвергаясь полной обработке, и после каждого поворота стола на одну позицию с полуавтомата снимается готовая деталь. Вращение шпинделей в каждой позиции осуществляется от индивидуальных приводов, а при

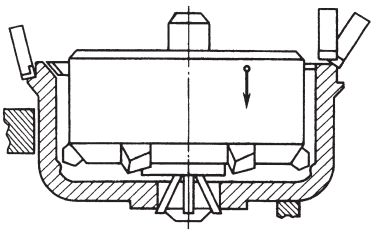


Рис. 3.37. Схема обработки тормозного барабана на вертикальном полуавтомате параллельного действия

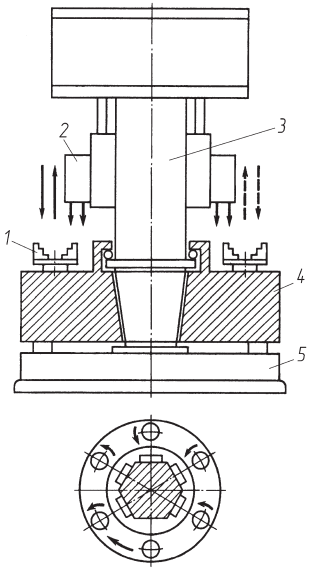


Рис. 3.38. Схема работы вертикального многошпиндельного полуавтомата последовательного действия

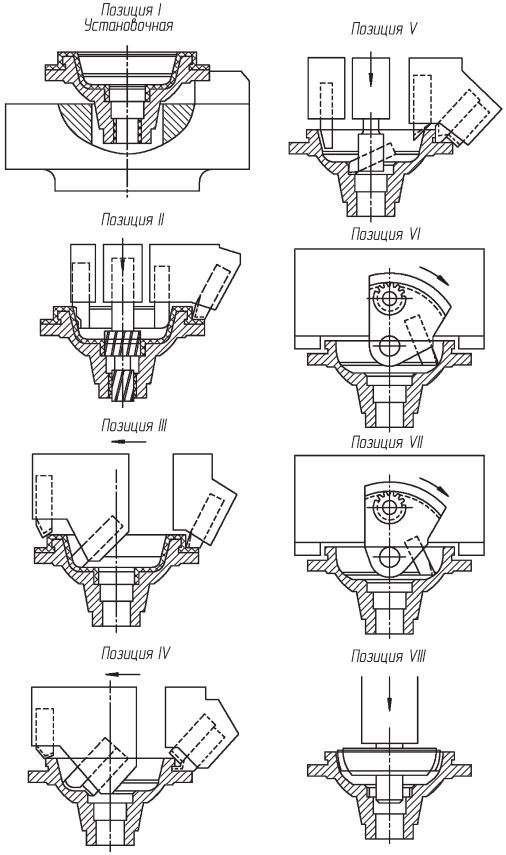


Рис. 3.39. Схема обработки чашки дифференциала на вертикальном полуавтомате последовательного действия

смене позиций и в позиции загрузки они не вращаются. Поперечных суппортов на вертикальных полуавтоматах нет, и для получения в отдельных позициях полуавтоматов последовательного действия поперечной подачи инструмента используются специальные суппорты, в которых продольное перемещение преобразуется в поперечное.

На рис. 3.39 показана схема обработки заготовки на вертикальном восьмишпиндельном полуавтомате последовательного действия, в которой на *III* и *IV* позициях с поперечной подачей производятся подрезание торца, снятие фаски и протачивание выточки и канавки. Кроме того, в данном примере используется специальное приспособление для растачивания внутренней сферы на *VI* и *VII* позициях. Основные технические характеристики вертикальных полуавтоматов приведены в табл. 3.5.

Все вертикальные многошпиндельные полуавтоматы имеют практически одинаковую компоновку, а различия в устройстве и конструкции отдельных узлов связаны, главным образом, с принципом работы полуавтомата. Ниже рассматривается только полуавтомат последовательного действия как более сложный в конструктивном отношении.

На рис. 3.40 приведена компоновка восьмишпиндельного полуавтомата последовательного действия мод. 1К282, на основании *14* которого смонтирова-

3.5. Технические характеристики вертикальных многошпиндельных полуавтоматов

Параметр	мод. 1К282	мод. 1283	мод. 1Б284	мод. 1286-8, 1А286-8	мод. 1А286-6
Диаметр обрабатываемой заготовки, мм, не более	250	400	360	500	630
Число шпинделей	8	8	6	8	6
Число скоростей шпинделя	50	50	22	21	21
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$:					
при нормальном исполнении	42…628	28…410	20…224	20…200	12,5…250
при быстроходном исполнении	66…980	43…635	—	63…630	25…500
Число суппортов	7	7	5	7	5
Перемещение суппортов, мм (вертикальное и горизонтальное), не более	350	350	200	400	450; 200
Подача, мм/об	0,041… 4,053	0,064… 4,002	0,08… 5,0	0,0315…4,0	0,028… 4,0
Мощность главного привода, кВт	22, 30, 40, 50	20, 30, 40, 55, 75, 100	22 или 30	40, 55, 75, 100	110
Масса, кг	19 000	20 500	15 000	32 000	35 500

ны все основные узлы и механизмы станка. В тумбе основания закреплена основная несущая часть полуавтомата — пустотелая колонна *9*, у которой внизу на конусе смонтирован поворотный стол *12* с рабочими шпинделями *11*, в средней части — направляющие для суппортов *2*, а сверху с помощью венца *8* — семь коробок скоростей и подач *4*, электродвигатель *6* с редуктором *7* и стойка *5* с гидроцилиндром для включения через тягу *10* семи синхронизаторов *16* и тормоза *15*. Вращение на шпиндели от коробок скоростей передается валами *3*, размещенными внутри колонны. Механизм поворота и фиксации *13* стола установлен в нише основания, которая одновременно является резервуаром гидросистемы станка. Электрооборудование полуавтомата смонтировано в специальном шкафу *1*.

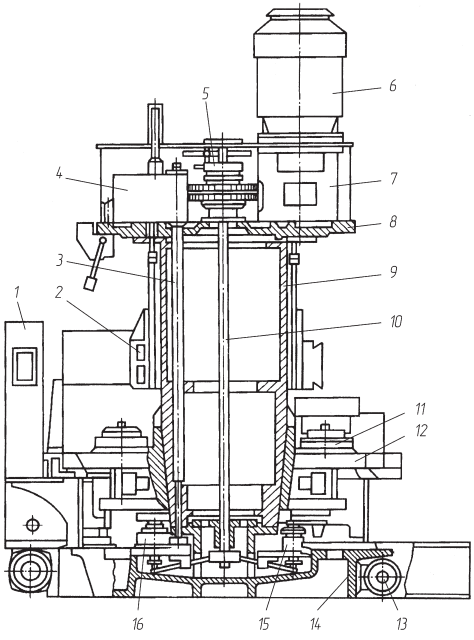


Рис. 3.40. Компоновка вертикального восьмишпиндельного полуавтомата мод. 1К282

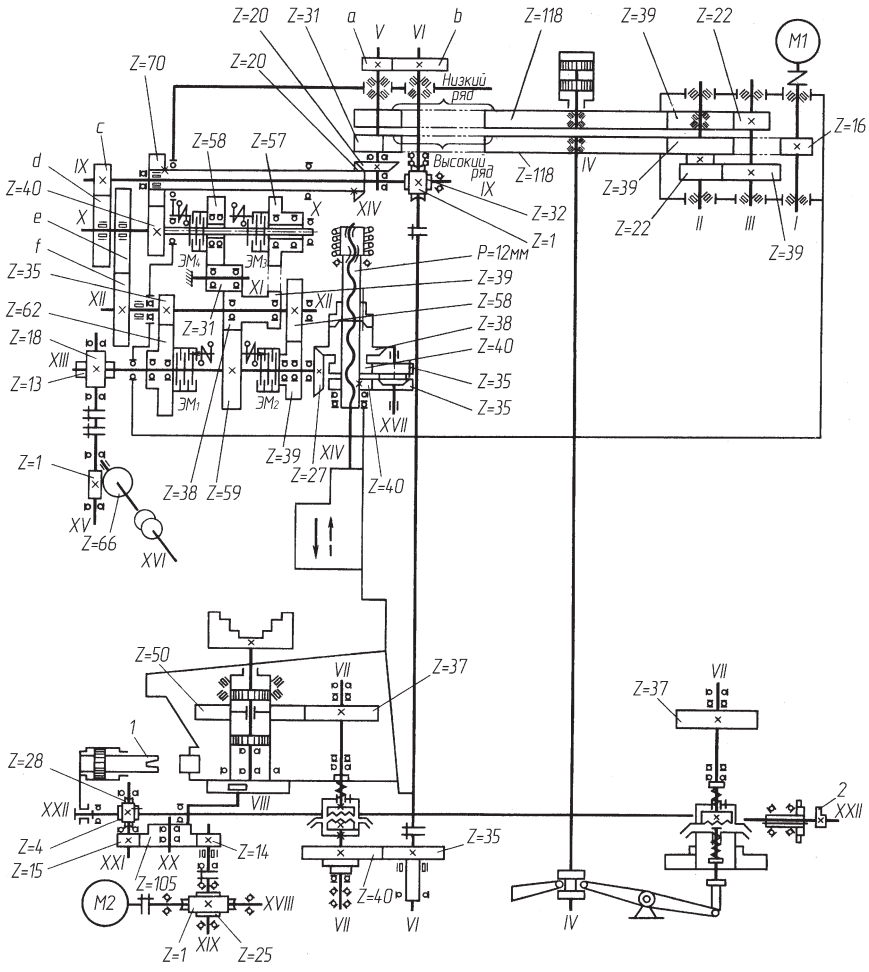


Рис. 3.41. Кинематическая схема вертикального многошпиндельного полуавтомата мод. 1К282

Кинематическая схема этого полуавтомата показана на рис. 3.41. Она включает в себя следующие кинематические цепи: привод главного движения, приводы рабочей и ускоренной подач суппортов, вращения командоаппарата и привода механизма поворота стола.

Привод главного движения осуществляется от двигателя *M1* через зубчатые колеса редуктора 16/39 и далее 39—118—31 (при высоком ряде частот вращения) или через 22/39, 22/39 и 39—118—31 (при низком ряде частот вращения). С вала *V* вращение передается через гитару сменных зубчатых колес *a* и *b,* зубчатые колеса 35/40, 37/50 (37/37 при скоростном исполнении). Каждый шпиндель, находящийся в рабочей позиции, имеет индивидуальную цепь привода, начиная с вала *V*.

Привод рабочей подачи суппортов осуществляется от вала *VI* через червячную передачу 1/32, сменные колеса *c, d, e* и *f* и далее через зубчатые колеса *35/62*

(включена муфта *ЭМ1*) или 58/39 (включена муфта *ЭМ2*) на вал *XIII*. С этого вала через коническую передачу 27/38 вращение передается гайке и от нее ходовому винту ($P_{х.в}$= 12 мм) с суппортом. Переключать муфты *ЭМ1* и *ЭМ2* можно в процессе обработки, получая две рабочие подачи суппорта: мелкую и крупную.

Привод ускоренной подачи суппортов осуществляется от вала *V* через конические колеса 20/20 и цилиндрические 70/40 на вал *X*. При ускоренном подводе суппорта включается муфта *ЭМ3*, и вращение передается через зубчатые колеса 57/39, 38/59, 27/38 на гайку ходового винта, а при ускоренном отводе суппорта (включается муфта *ЭМ4*) вращение на гайку ходового винта передается через зубчатые колеса: 58—31—38—59 и 27/38. При переходе с высокого ряда частот вращения на низкий для сохранения постоянной скорости ускоренного перемещения суппорта необходимо поменять местами колеса в передаче 70/40 между валами *IX* и *X*. Скорости быстрого подвода и отвода суппорта соответственно равны 3,6 и 3,5 м/мин.

Привод вращения командоаппарата осуществляется от вала *XIII* через винтовую зубчатую передачу 18/13 и червячную 1/66.

Привод механизма поворота стола осуществляется от электродвигателя *М2* через червячную передачу 1/25, зубчатые колеса 14/105 к мальтийскому механизму. Водило мальтийского механизма смонтировано на ступице колеса Z = 105, а мальтийский крест на нижней плоскости поворотного стола, который может быть повернут на 1/8 или 1/4 (на две позиции) часть оборота.

Управление поворотом и фиксацией стола осуществляется кулачками, установленными на правом конце вала *XXII*, нажатием на соответствующие конечные выключатели. Кроме поворота через червячную передачу 4/28, вал *XXII* получает осевое перемещение от гидроцилиндра *1* при фиксации и расфиксации стола.

Поворотный стол с восьмью шпиндельными узлами смонтирован и вращается на конусной части колонны и на специальном двойном упорном шарикоподшипнике (рис. 3.42), воспринимающем вертикальную нагрузку. Он включает в себя верхнее *9* и нижнее *1* кольца с желобами — дорожками качения и среднее кольцо — фланец *5*, между которыми заложены шарики *2* и *6*, закрытые ленточным уплотнением *7* и кожухами *4* и *8*. Натяг в конусной радиальной опоре стола (на рис. 3.42 не показана) производится путем пригонки компенсаторных секторов *3*.

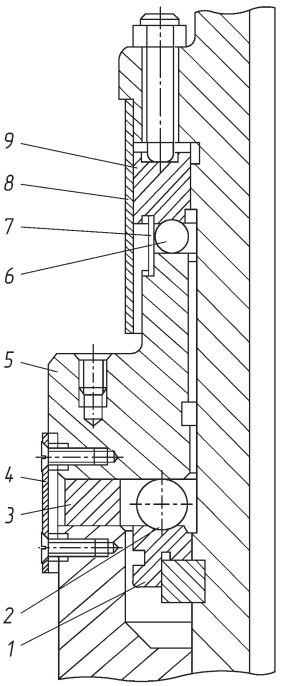


Рис. 3.42. Опора поворотного стола вертикального полуавтомата мод. 1К282

Шпиндельный узел (рис. 3.43) является самым ответственным узлом полуавтомата, определяющим точность и чистоту обработки. Шпиндель *1* смонтирован в конических роликовых подшипниках *3* в стакане *4*, который устанавливается в расточенном

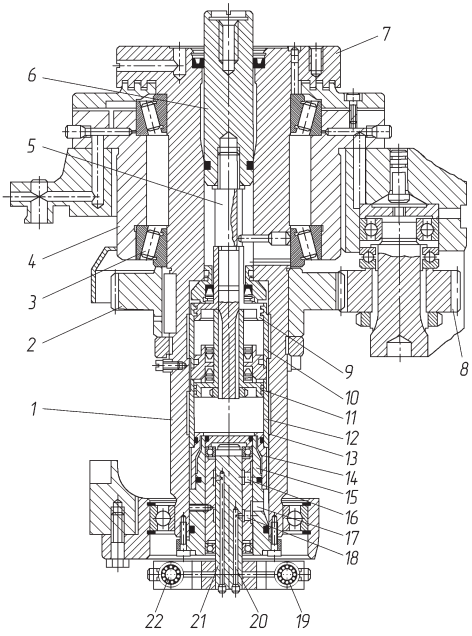


Рис. 3.43. Шпиндельный узел вертикального полуавтомата мод. 1К282

отверстии поворотного стола. Нижний конец шпинделя поддерживается радиальным шарикоподшипником. На фланце шпинделя *7* крепится кулачковый патрон, зажим-разжим заготовки в котором производится соответственно при опускании и подъеме тяги *6*, установленной в центральном отверстии шпинделя. Тяга свинчена со штоком *5*, на котором смонтированы поршни *9* и *11* сдвоенных гидроцилиндров *10* и *12*. Для надежности переключения тяговое усилие при разжиме развивается больше, чем при зажиме. Это достигается подачей масла при зажиме в штоковые полости гидроцилиндров через отверстия *19*, *20*, *18*, *17* и выточку *13* в шпинделе, а при разжиме — в поршневые полости через отверстия *22*, *21*, *16*, *15* и зазор *14* в нижний гидроцилиндр, а через шлицевые каналы в штоке *5* — в верхний. Вращение шпинделя с частотой, настроенной в данной рабочей позиции, осуществляется от привода главного движения через узел синхронизации и зубчатые колеса 8—2.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Токарно-карусельные станки

4.1. Общие сведения

Токарно-карусельные станки предназначены для обработки заготовок преимущественно типа тел вращения (длина которых обычно не превышает их диаметра) с диаметрами от 800 до 20 000 мм и относятся к станкам токарной группы. Основным размером является наибольший диаметр обрабатываемой заготовки. Для этих станков по сравнению с токарными и лоботокарными станками характерно наличие вертикальной оси вращения планшайбы, благодаря чему становится более безопасным и удобным закрепление тяжелых заготовок. Недостаток этих станков — плохой отвод стружки, а также переменный вылет инструмента, обусловленный особенностью обработки.

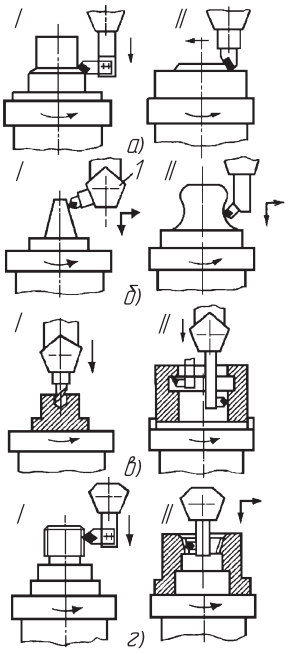


Рис. 4.1. Схемы обработки различных поверхностей на токарно-карусельных станках средних размеров

Станки широкоуниверсальные и позволяют проводить различные виды работ. На станках средних размеров (диаметром до 2500 мм) можно обтачивать цилиндрические, торцовые, конические и фасонные поверхности (рис. 4.1, *а*, *б*); сверлить и растачивать центровые отверстия и канавки (рис. 4.1, *в*); нарезать наружные и внутренние цилиндрические и конические резьбы (рис. 4.1, *г*). Для повышения гибкости и производительности станков средних размеров инструмент часто устанавливают в поворотной револьверной головке *1* (рис. 4.1, *б*).

Крупные токарно-карусельные станки с диаметром обработки более 3000 мм оснащаются различными сменными узлами, устанавливаемыми на суппорт, что позволяет обрабатывать заготовки исключительно сложной формы. С использованием современных систем ЧПУ на станках можно точить, растачивать, фрезеровать, сверлить, шлифовать детали с одной установки и решать другие сложные технические задачи.

Пример комплексной обработки корпусной заготовки *1* с помощью сменных узлов, устанавливаемых на ползуне *14* вместо резцедержателя *13*, приведен

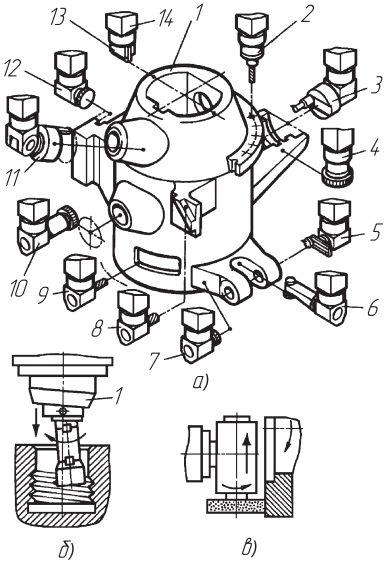


Рис. 4.2. Пример комплексной обработки сложной детали на тяжелом станке с использованием сменных узлов

на рис. 4.2, *а*. Подрезка торца осуществляется резцом, установленным в резцедержателе *13*; обработка вертикальных плоскостей и уступов — угловой фрезерной головкой *12*; получение конической наружной поверхности на патрубке — поворотной планшайбой *11* с радиальной ползушкой или расточно-подрезным устройством *5*; фрезерование отверстия — с помощью угловой фрезерной головки *10* методом контурного фрезерования; обработка пазов — угловой фрезерной головкой *9*; наклонных плоскостей — головками *7* и *8*; фрезерование по контуру переходных поверхностей — с помощью угловой фрезерной головки *6*; обработка плоскостей разъема — прямой фрезерной головкой *4*; обработка канавок — планшайбой *3*; сверление отверстий — прямой фрезерной головкой *2* или непосредственно шпинделем станка, встроенным в ползун суппорта.

На рис. 4.2, *б* показана схема обработки резьб большого диаметра (60…300 мм) с использованием приспособления *1* для резьбо-

4.1. Технические характеристики токарно-карусельных станков

Диаметр D обрабатываемой заготовки, мм, не более	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300… 20 000
Высота H обрабатываемой заготовки, мм, не более	800		1000		1250	1600		2000	2500	3150… 6300
Масса m обрабатываемой заготовки, кг, не менее	2500	4000	6300	10000	1600	25000		80000		200 000… 800 000
Высота сечения хвостовой части резца, мм, не менее	50			63			63			80
Диаметр $D_{пл}$ планшайбы стола, мм, не менее	750	900	1120	1400	1800	2240	2800	3550	4500	5600… 18 000
Длина L хода ползуна верхнего суппорта, мм, не менее	500		630		800	1000		1250	1600	2000… 4000
Угол установки α верхнего суппорта к вертикали, °, не более	+45					+30			+30	
	–30					–15			–10	

нарезания. Для осуществления финишных операций изготавливают различные шлифовальные головки (рис. 4.2, *в*).

Несмотря на большие размеры, станки обеспечивают высокую точность. Например, радиальное и торцовое биение планшайб самых крупных размеров (10...12,5 м) не превышает 20...30 мкм, параллельность перемещения ползуна оси вращения детали 20 мкм; погрешность траекторий перемещений суппортов на всей длине 5...6 м (параллельность, прямолинейность) обычно не превышает 40...50 мкм, погрешность позиционирования на всей длине 40...50 мкм; погрешность позиционирования планшайбы при повороте на любой угол ±5″. Технические характеристики токарно-карусельных станков (в соответствии с ГОСТ 44—93) приведены в табл. 4.1.

Компоновка станков. В зависимости от размеров и назначения станки выпускаются одностоечными или двухстоечными. Станки с диаметром обработки до 2 м выполняют, как правило, одностоечными (рис. 4.3, *а*—*в*). Ряд иностранных фирм выпускают станки до 3500 мм одностоечными. В зависимости от высоты заготовки *H* станки имеют неподвижную (рис. 4.3, *а*) или подвижную (рис. 4.3, *б*) поперечину *1* (перемещается установочно). В первом случае высота *H* заготовки значительно меньше диаметра *D,* а во втором — равна или даже несколько больше диаметра. Часто станки с неподвижной поперечиной имеют один вертикальный суппорт *2* с револьверной головкой *3*. Станки с подвижной поперечиной могут иметь дополнительно вертикальный *4* и горизонтальный *5* суппорты (рис. 4.3, *б*). Выпускаются также станки без поперечины (рис. 4.3, *в*). Здесь салазки *1* суппорта *2* перемещаются по вертикальным направляющим стойки *3*.

Тяжелые и уникальные станки с диаметром обработки от 4 до 20 м выполняют одностоечными (рис. 4.3, *г*) и двухстоечными (рис. 4.3, *д*). В них консоль *1* (поперечина *1* на рис. 4.3, *д*) и стойка *3* перемещаются установочно. Уникальные станки двухстоечной компоновки могут иметь портал, перемещающийся в плоскости чертежа (рис. 4.3, *д*), что позволяет увеличить диаметр *D* заготовки.

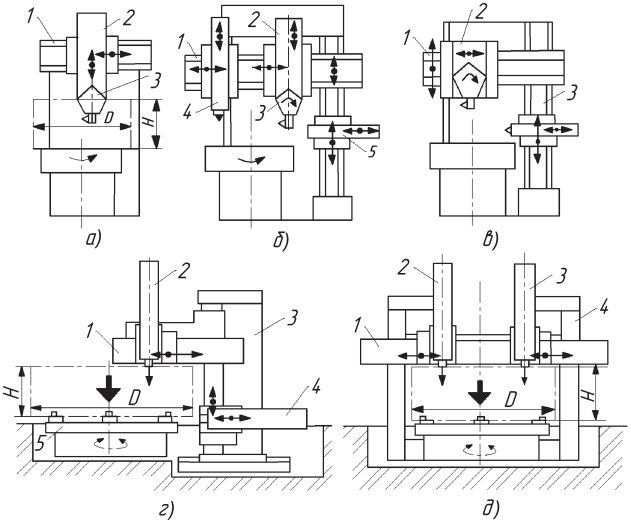


Рис. 4.3. Компоновки токарно-карусельных станков

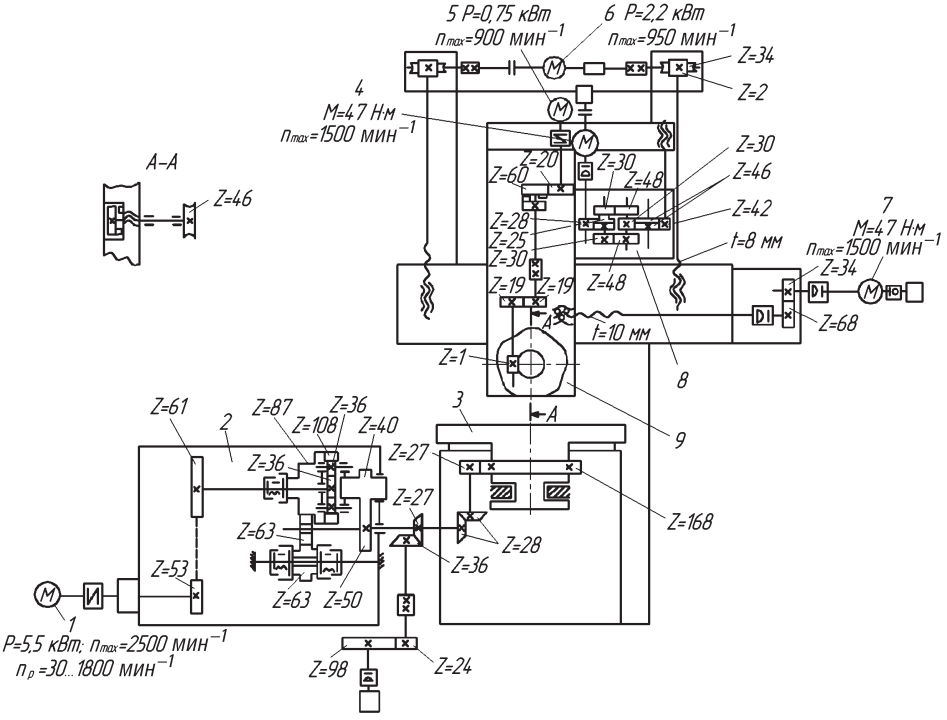


Рис. 4.4. Кинематическая схема станка с обработкой диаметров 1250 мод. 1Е512П∅2М: *1* — электродвигатель главного движения; *2* — коробка скоростей; *3* — планшайба; *4* — электродвигатель вертикальной подачи суппорта; *5* — электродвигатель поворота револьверной головки; *6* — электродвигатель перемещения поперечины; *7* — электродвигатель горизонтального перемещения суппорта; *8* — коробка подач с выборкой зазора; *9* — револьверный суппорт

Одностоечные станки выполняются также с подвижным столом *5* и неподвижной стойкой *3*. Основными преимуществами одностоечной компоновки являются значительно меньшие масса, стоимость, занимаемая площадь, удобные загрузка станка крупными заготовками и их обслуживание, так как рабочая зона открыта для установки заготовки. На таких станках эффективно используется боковой суппорт *4*, который можно устанавливать на минимальном расстоянии от обрабатываемой заготовки. Недостатком станков является меньшая жесткость, особенно при точении вертикальным суппортом *2* деталей малого диаметра. Преимуществом двухстоечной компоновки является высокая жесткость несущей системы, позволяющая эффективно использовать два вертикальных суппорта *2* и *3*.

Кинематическая схема станка с диаметром обработки 1250 мм приведена на рис. 4.4. На станке предусмотрен револьверный суппорт *9* с автоматизированным поворотом от привода *5* и зажимом револьверной головки. Приводы главного движения и подач осуществляются от электродвигателей постоянного тока *1*, *4* и *7*. Планетарная коробка скоростей *2* имеет две ступени с передаточным отношением 1:1 и 1:4.

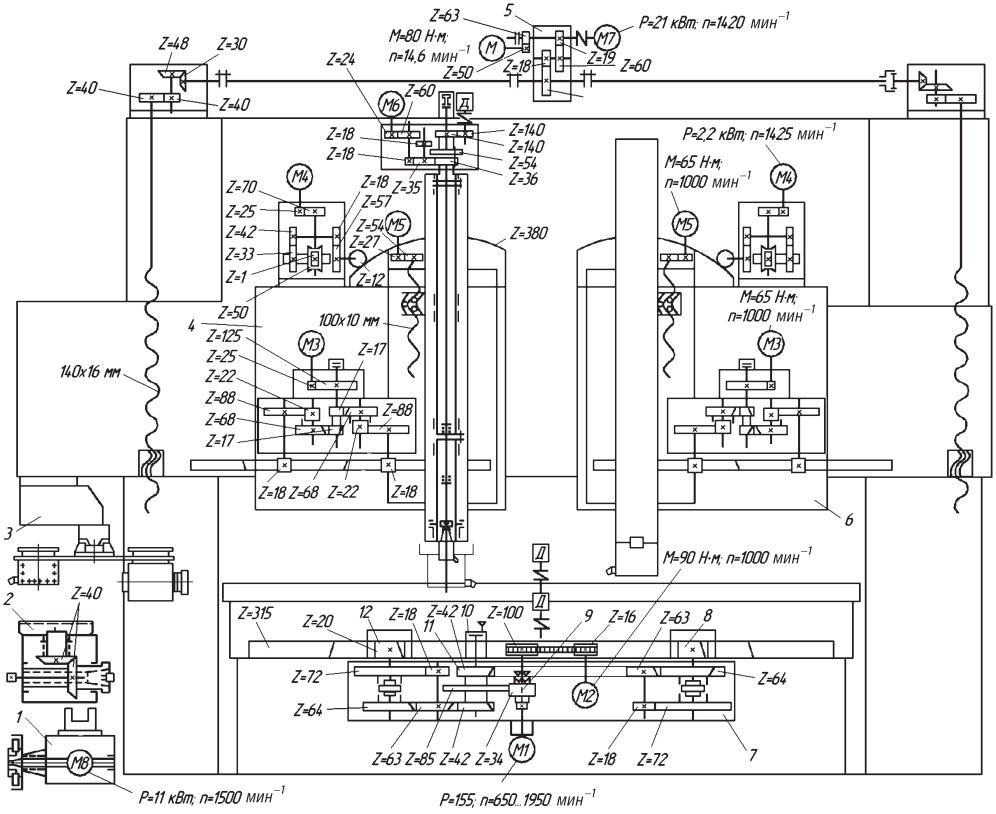


Рис. 4.5. Кинематическая схема двухстоечного токарно-карусельного станка мод. 1А563Ф4. Электродвигатели:
M1 — главного движения; *M2* — круговой подачи планшайбы; *M3* — перемещения суппортов; *M4* — поворота суппортов; *M5* — перемещения ползунов; *M6* — главного привода суппорта; *M7* — перемещения поперечины; *M8* — вращения шлифовального круга; *Д* — датчики положения

На рис. 4.5 показана кинематическая схема двухстоечного токарно-карусельного станка с ЧПУ с диаметром обработки 6300 мм мод. 1А550Ф4. Привод главного движения и привод круговой подачи планшайбы объединены в одном механизме *7*. Работа главного привода обеспечивается при включении в работу двигателя *M1* (при положении зубчатого колеса, как показано на схеме). В этом случае обеспечивается равномерное распределение нагрузки между двумя выходными колесами *8* и *12* за счет «плавающего» шевронного колеса *11* (в гидроцилиндр *10* масло не подается). Для работы в режиме круговой подачи колесо *9* перемещается вверх, и в работу включается двигатель привода подачи *M2*. Одновременно в гидроцилиндр *10* подается под давлением масло, и за счет осевого перемещения шевронного колеса *11* выбирается зазор в зацеплении колес *8* и *12* с венцом ($Z = 315$). На станке предусмотрен как токарный *6*, так и фрезерно-расточной *4* суппорты. Установочное движение поперечины осуществляется механизмом *5*. Для расширения технологических возможностей предусмотрены

угловая фрезерная головка *2* и шлифовальная головка *1*, которые в целях облегчения их смены устанавливаются на поворотном магазине *3*.

4.2. Конструкции характерных узлов

Столы. Точность геометрической формы детали, скоростные и силовые характеристики, надежность работы станка в значительной степени определяются конструкцией стола, на котором закрепляется обрабатываемая заготовка. У станков с диаметром обработки до 3000 мм используются опоры качения и гидростатические опоры; при больших размерах предпочтение отдается гидростатическим направляющим, обеспечивающим большую точность и виброустойчивость станка.

На рис. 4.6 приведена конструкция стола с опорами качения. Средний диаметр $D_{ср}$ подшипника выбирают равным примерно половине наибольшего диаметра обработки. Конструкция обеспечивает большую окружную скорость и используется при обработке диаметров до 2500 мм. Для повышения жесткости и виброустойчивости, особенно при обработке высоких заготовок, предусматривают подшипник *5*, с помощью которого создается предварительный натяг главного подшипника *7*, опирающегося на основание *8*. Обрабатываемая заготовка может закрепляться в тисках *4*, а также на столах-спутниках, устанавливаемых на планшайбе *6*. Для восприятия больших осевых усилий, возникающих в зацеплении косозубых колес *2* и *3*, вал *9* установлен на конических роликоподшипниках. Вращение планшайбы осуществляется от электродвигателя *1* через ременную передачу *10*.

Конструкции столов с гидростатическими направляющими приведены на рис. 4.7. Замкнутые круговые гидростатические направляющие *1* и *2* (рис. 4.7, *а*), обеспечивающие высокую жесткость масляного слоя, применяются при планшайбе диаметром до 2 м. Более технологичными являются разомкнутые гидро-

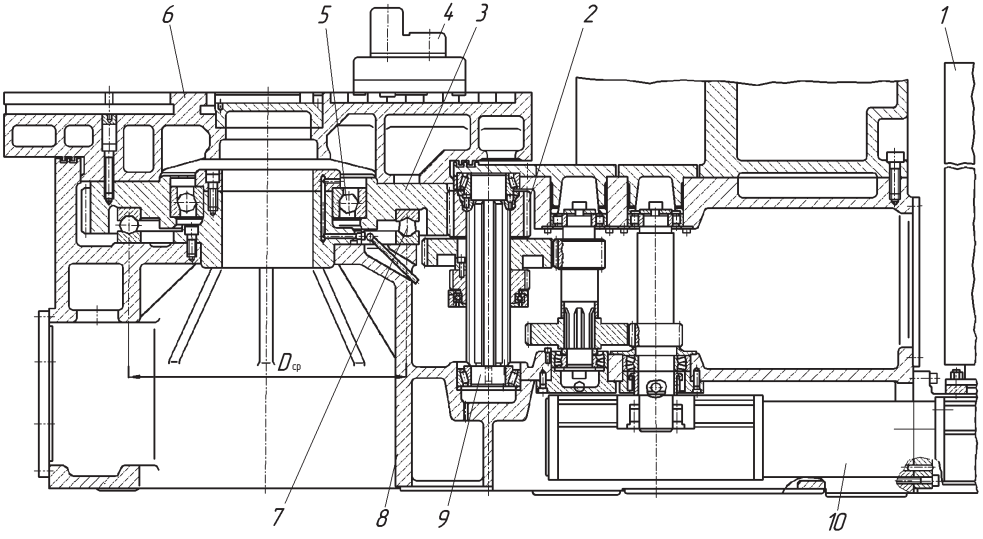


Рис. 4.6. Конструкция стола с опорами качения

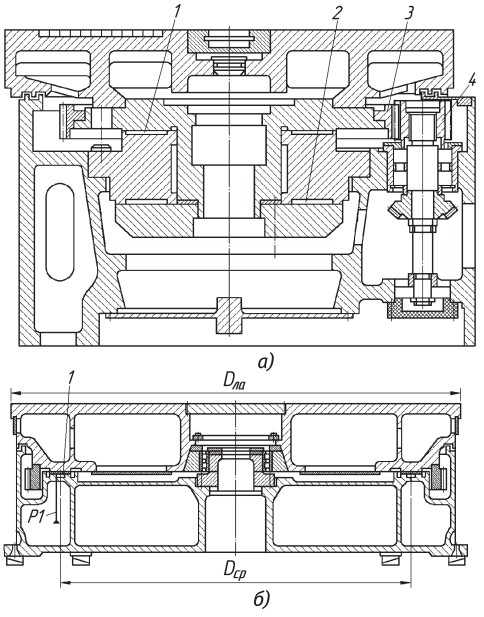


Рис. 4.7. Конструкции стола (*а* и *б*) с гидростатическими круговыми направляющими

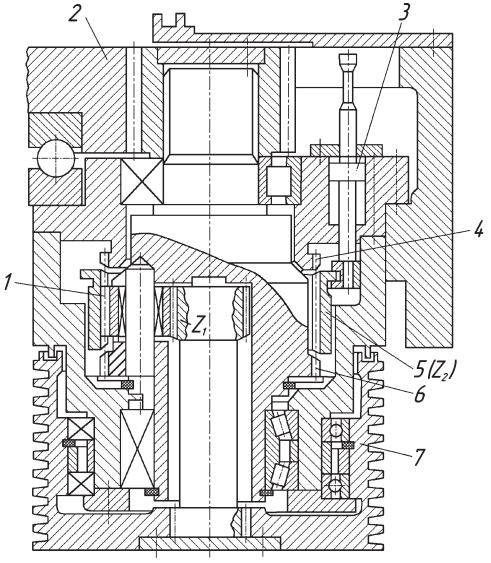


Рис. 4.8. Схема планетарной двухступенчатой коробки скоростей

статические направляющие *1*, используемые в тяжелых станках, с диаметром планшайбы до 12,5 м (рис. 4.7, *б*). Наибольшее распространение в станках получил привод вращения планшайбы, осуществляемый через косозубые колеса *3* и *4*.

Главный привод. В состав главного привода (вращения планшайбы) входят регулируемый электродвигатель и двух-, трехступенчатая коробка скоростей. Кроме того, для круговой подачи планшайбы, например при фрезеровании, предусматривают дополнительный привод (с выборкой зазора в кинематической цепи). Этот же привод используют для точного поворота планшайбы на заданную угловую координату. В конструкции (см. рис. 4.6) двухступенчатая коробка скоростей располагается в корпусе стола *8*. Передача вращения от двигателя постоянного тока *1* к коробке скоростей и далее на планшайбу осуществляется через плоскоременную передачу *10*.

На рис. 4.8 показана схема двухступенчатой компактной планетарной коробки скоростей, передающей вращение с входного вала (от шкива *7*) на зубчатый венец *2*. Переключение ступеней осуществляется за счет перемещения гидроцилиндром *3* зубчатого колеса *5* с внутренним зубом. При его перемещении вниз и сцеплении с зубчатой муфтой *6* коробка скоростей работает в режиме зубчатой муфты (снижается шум). При перемещении колеса *5* вверх и сцеплении его с неподвижным колесом *4* работает планетарная передача с передаточным отношением: $i = Z_1/(Z_1 + Z_2) \approx 1:4$. Благодаря трем равномерно расположенным по окружности сателлитам *1* мощность передается по трем потокам, и радиальные размеры коробки невелики.

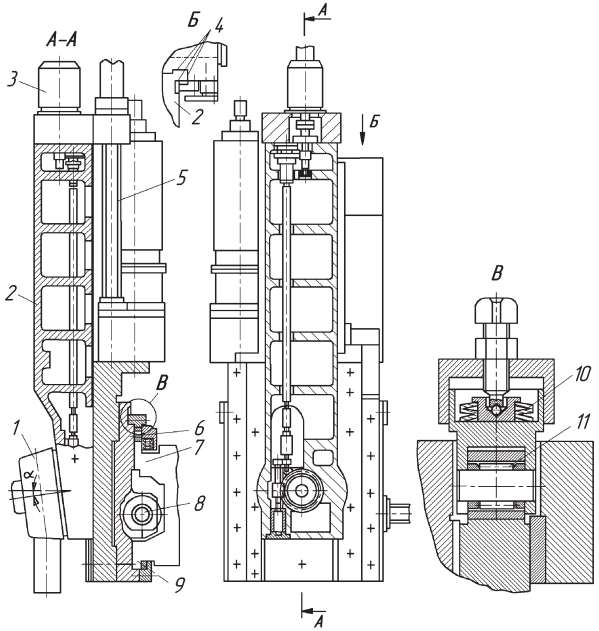


Рис. 4.9. Вертикальный суппорт с револьверной головкой

Суппорты и поперечины. Станки с диаметром обработки до 2500 мм чаще всего оснащают вертикальным суппортом (рис. 4.9) с четырех- или пятипозиционной револьверной головкой *1*, имеющей автоматизированный поворот (смену инструмента) и зажим от двигателя *3*. Инструмент закрепляется в револьверной головке вручную. Ось револьверной головки располагается горизонтально или под углом $\alpha = 7\ldots10^{o}$ к горизонту для удобства размещения резцедержателей.

Цилиндрические поверхности обрабатываются при вертикальном перемещении ползуна *2* с помощью винтовой передачи *5* в направляющих *4* (см. вид *Б*) корпуса суппорта. Торцовые поверхности обрабатываются при горизонтальном перемещении салазок *6* по направляющим *7* и *9* поперечины от винтовой передачи *8*. В конструкции суппорта на рис. 4.9 направляющие поперечины частично разгружены от силы тяжести суппорта с помощью роликов *11* и тарельчатых пружин *10*. Обычно суппорты с револьверными головками не имеют поворота ползуна (его ось вертикальна). Для перемещения ползуна и суппорта применяются направляющие качения и комбинированные направляющие (качение-скольжение).

Взамен ползуна с револьверной головкой используются также суппорты с резцедержателями. Такую конструкцию имеют станки с устройством автоматической смены инструмента и все тяжелые станки. Суппорты с ползунами, имеющие поперечные сечения в форме прямоугольника, квадрата, восьмигранника, могут поворачиваться на требуемый от вертикали угол.

На рис. 4.10 показана конструкция суппорта, в которой как направляющие *1* и *4* салазок, так и ползуна *10* выполнены на гидростатических опорах. Каждый карман (на ползуне их 16 по 8 на каждой опоре *8* и *9*) питается от многопоточ-

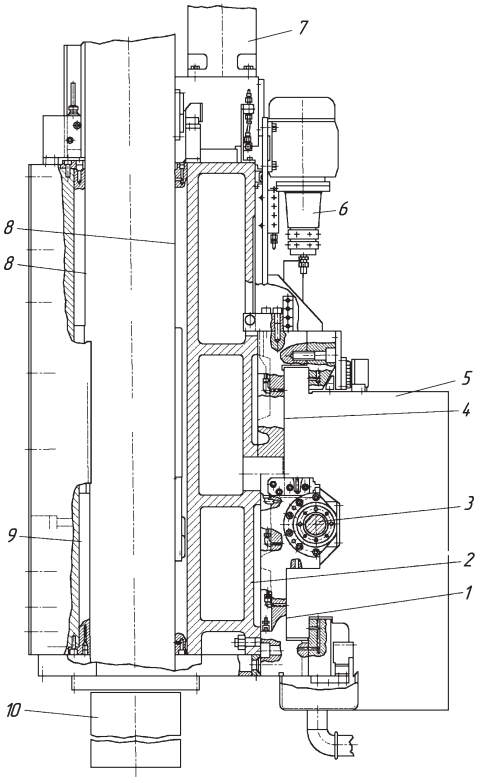


Рис. 4.10. Конструкция суппорта станка диаметром 1600 мм с гидростатическими направляющими салазок и ползуна

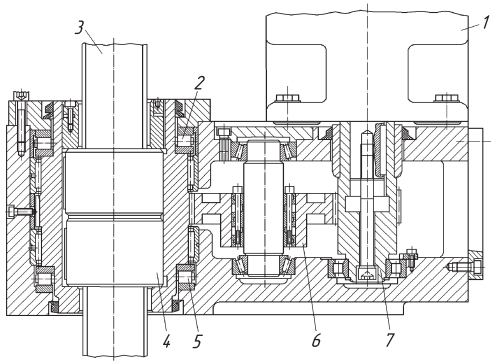


Рис. 4.11. Схема привода подачи ползуна с вращающейся гайкой:
1 — двигатель; *2* и *5* — осевые опоры вращающейся гайки; *3* — винт; *4* — шариковая гайка; *6* и *7* — зубчатые колеса

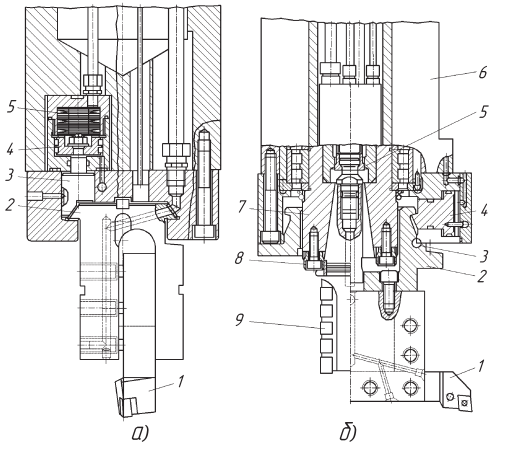


Рис. 4.12. Установка инструмента в ползуне: *а* — резцедержавки с резцами; *б* — вращающегося и невращающегося инструмента в шпинделе

ного насоса *6*, подающего масло в каждый из карманов 0,2 л/мин. Движение суппорта *2* по поперечине *5* осуществляется с помощью шариковой передачи *3*, а перемещение ползуна *10* — от регулируемого двигателя *7*, передающего вращение на шариковую гайку *4* (рис. 4.11).

В ползуне станка может автоматически устанавливаться и заменяться как невращающийся инструмент (рис. 4.12, *а*), так и вращающийся (рис. 4.12, *б*). В первом случае резцы *1* закрепляются в резцедержавке *2*, а та, в свою очередь, с помощью тарельчатых пружин *5* и клинового зажима *3* фиксируется на ползуне. Разжим резцедержавки производится гидроцилиндром *4*. Схема закрепления в ползуне *6* вращающегося *9* инструмента приведена на рис. 4.12, *б*. Резцедержавка *2* с невращающимися резцами *1* закрепляется с помощью четырех гидроцилиндров *4* и клиновых механизмов. Базирование резцедержавки осуществляется по цилиндрическому пояску *3*. Вращающийся инструмент *9* (фрезы и др.)

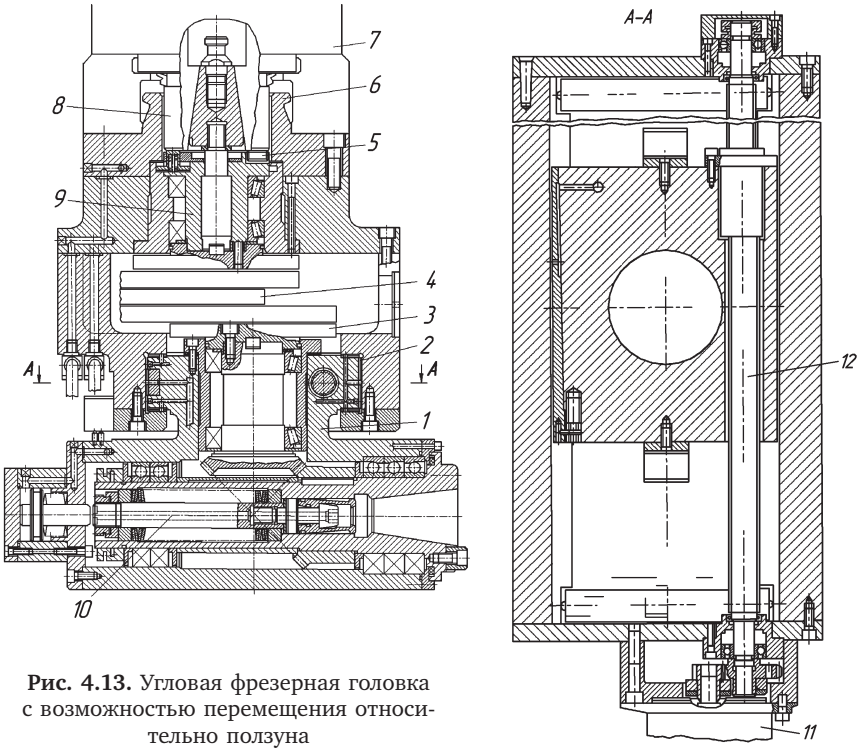


Рис. 4.13. Угловая фрезерная головка с возможностью перемещения относительно ползуна

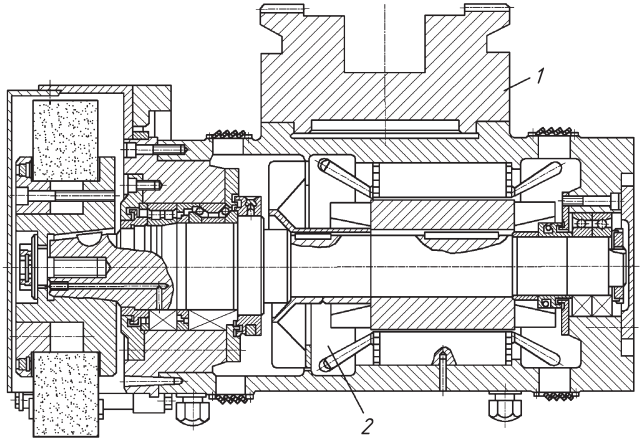


Рис. 4.14. Шлифовальная головка

закрепляется в шпинделе *7* с помощью цангового зажима *5*, а момент передается шпонками *8*. Для расширения технологических возможностей станки оснащают сменными фрезерными, шлифовальными и другими головками, которые закрепляются на ползуне с помощью зубчатой муфты или как резцедержавка с невращающимся инструментом по рис. 4.12, *б*.

На рис. 4.13 показана угловая фрезерная головка с управляемой координатой (перпендикулярно направляющим поперечины). Головка устанавливается в ползуне *7* и закрепляется коническим кольцом *6* аналогично рис. 4.12, *а*. Вращение на рабочий шпиндель *10* передается от шпинделя *8* ползуна через шпонку *5* на гильзу *9* и далее через специальную муфту *4* (см. схема *I*). С помощью этой муфты (двойной кривошип) вращение передается на фланец *3* и далее через конические колеса на рабочий шпиндель *10*. Муфта *4* передает вращение от гильзы *9* на фланец *3* при перемещении головки *1* в направляющих *2* в пределах ±150 мм. Перемещение головки *1* производится от регулируемого двигателя *11* (вид *А*—*А*) шариковым винтом *12*.

Схема шлифовальной головки *1* с встроенным в корпус электродвигателем *2* приведена на рис. 4.14.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Фрезерные и многоцелевые станки для обработки корпусных деталей

5.1. Общие сведения

На фрезерных станках обрабатывают с помощью фрез (рис. 5.1) плоские и фасонные поверхности, в особенности на рычагах, планках, корпусных и других деталях, не являющихся телами вращения, делают местные вырезы и срезы, прорезают прямые и винтовые канавки, а в отдельных случаях нарезают резьбы и зубья колес. Вращение фрезы является главным движением, относительное перемещение фрезы и заготовки (обычно прямолинейное) — движением подачи. Заготовку устанавливают на стол, почти всегда прямоугольный. Размеры рабочей поверхности стола являются основными размерами фрезерных станков: ширина 100…5000 мм, длина 400…16 000 мм и более.

Фрезерные станки классифицируют по компоновке (количество и расположение шпинделей, распределение движений) или по назначению. Различают следующие типы и их разновидности: горизонтально-фрезерные консольные станки (с горизонтальным шпинделем и консолью), в том числе простые (рис. 5.2, *а*), универсальные — с поворотным столом (рис. 5.2, *б*), широкоуниверсальные — с дополнительными фрезерными головками (рис. 5.2, *в*); вертикально-фрезерные станки (с вертикальным шпинделем), в том числе консольные (рис. 5.2, *г*) и бесконсольные, называемые также с крестовым столом (рис. 5.2, *д*); продольно-фрезерные станки, в том числе одностоечные (рис. 5.2, *е*), двухстоечные (рис. 5.2, *ж*), с передвижным порталом (рис. 5.2, *з*); широкоуниверсальные инструментальные станки — с вертикальной рабочей плоскостью основного стола и поперечным движением шпиндельных узлов (рис. 5.2, *и*); копировально-фрезерные станки (рис. 5.2, *к*); фрезерные станки непрерывного действия, в том числе карусельно-фрезерные (рис. 5.2, *л*), барабанно-фрезерные (рис. 5.2, *м*).

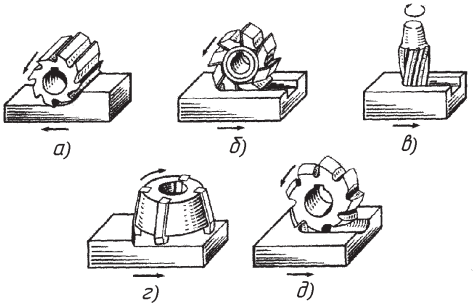


Рис. 5.1. Основные типы фрез: *а* — цилиндрическая; *б* — дисковая; *в* — концевая; *г* — торцовая; *д* — фасонная

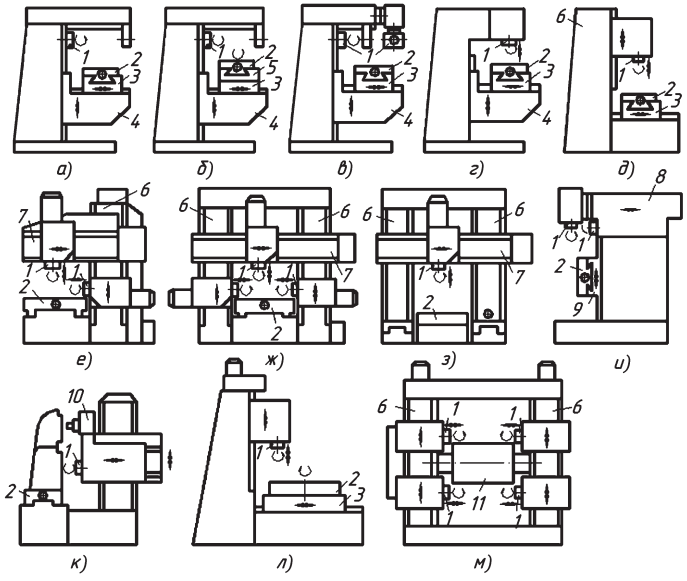


Рис. 5.2. Основные виды фрезерных станков и характерные их части: *1* — шпиндель; *2* — стол; *3* — салазки; *4* — консоль; *5* — поворотная плита; *6* — стойка (стойки и связывающую их балку называют порталом); *7* — поперечина (траверса); *8* — ползун; *9* — каретка; *10* — копировальное устройство; *11* — барабан

5.2. Горизонтально-фрезерные станки

Наибольшими технологическими возможностями обладают широкоуниверсальные станки. Они предназначены для работы в условиях единичного производства. Помимо расположенных под любым углом плоскостей, пазов, винтовых канавок и т.п. на станках можно обрабатывать объемные фасонные поверхности, например, штампов.

В качестве примера ниже приведем технические характеристики широкоуниверсального станка мод. 6Д82Ш.

Размеры рабочей поверхности стола (ширина × длина), мм ..... 320×1250
Перемещение стола (продольное), мм 950
Пределы частот вращения шпинделя, мин$^{-1}$:
горизонтального ..... 16...1600
поворотного ..... 45...2000
Число частот вращения шпинделя:
горизонтального 21
поворотного 12
Пределы подач стола, мм/мин ..... 12,5...1600
Число ступеней подач 22
Мощность электродвигателя привода шпинделя, кВт:
горизонтального 5,5
поворотного 2,2

Класс точности станка ..... П
Допуск, мкм, на прямолинейность поверхности обработанного образца-изделия при длине свыше 250 до 400 мм. 16

Большинство фрезерных консольных станков выпускают по классу Н.

Компоновки. Основной шпиндель *1* (рис. 5.3) широкоуниверсального станка выступает из станины (стойки) *9*. На выдвижном хоботе *2* закреплена поворотная головка *3* со шпинделем, имеющим независимый привод, и может быть пристыкована накладная головка *4* с собственным шпинделем. Первая из головок имеет две оси поворота: горизонтальную (ось хобота) и перпендикулярную к ней. Накладная головка *4* может поворачиваться вокруг третьей оси, перпендикулярной к первым двум. Фрезы закрепляют непосредственно на шпинделях или оправках. Для поддержки оправки, вставленной в основной шпиндель, служат серьги *5*. Это дает возможность работать цилиндрическими фрезами или набором дисковых (фасонных) фрез.

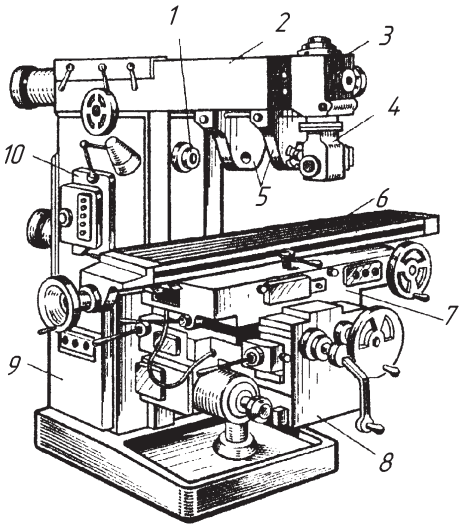


Рис. 5.3. Общий вид широкоуниверсального консольного горизонтально-фрезерного станка

Заготовка получает продольное движение от стола *6* (неповоротного), поперечное — от салазок *7*, вертикальное — от консоли *8*, которая представляет собой коробку с большим вылетом относительно направляющих, сопрягающих ее со стойкой *9*. В консоль встроена коробка подач, в стойку — коробка скоростей *10* основного шпинделя.

У универсального станка, имеющего один шпиндель, стол может быть повернут с помощью поворотной плиты на угол до 45° вокруг вертикальной оси, что обеспечивает фрезерование винтовых канавок.

У простых горизонтально-фрезерных станков стол «неповоротный» и нет дополнительных фрезерных головок. Обычно все названные станки являются консольными, т.е. стол с салазками базируются на консоли.

Кинематическая схема станка мод. 6Д82Ш (рис. 5.4). Привод главного движения служит для вращения фрезы и осуществляется двигателем *М1*. В приводе предусмотрен перебор с передачами 22/53 и 21/56, при этом двойной блок стоит всегда в правом положении (передача 20/58); при выключении перебора передвигают вправо колеса *21* и *22*, причем последнее входит в зацепление с внутренним зубчатым венцом и становится полумуфтой M_1. В приводе от двигателя *М2* перебор содержит передачи 23/63 и 22/63.

Привод подачи служит для перемещения заготовки по одной из трех координат и изменения скорости этого движения. Коробка подач получает вращение от двигателя *М3* и содержит четыре двойных блока и перебор с передачами 19/40

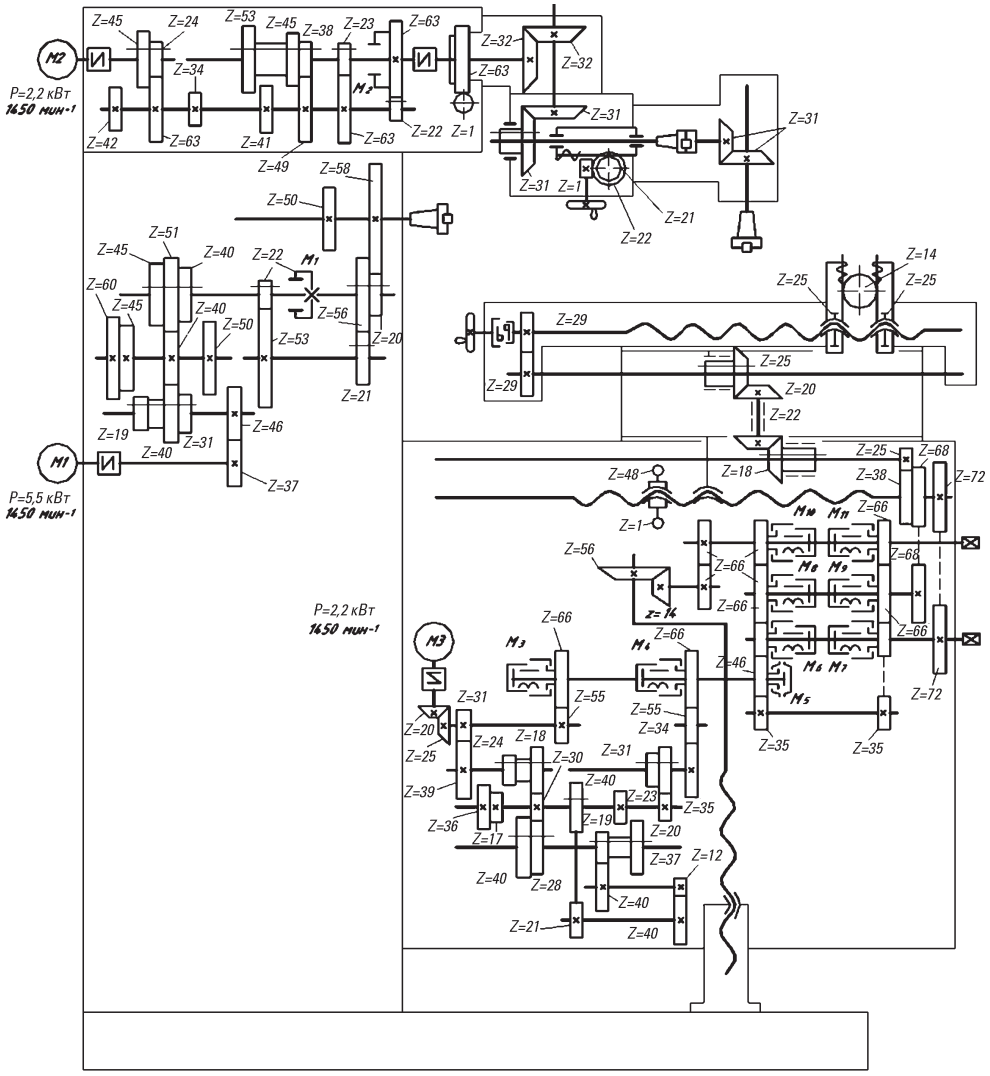


Рис. 5.4. Кинематическая схема станка мод. 6Д82Ш

и 21/40. Перебор выключают перемещением вправо последнего его колеса до зацепления с колесом $Z = 19$ (конец перебора соединяется с его началом) или перемещением блока до зацепления колес 37/20. От коробки подач движение передается дальше при включенной муфте M_4. При работе муфты M_3 (M_4 в этом случае выключена) движение от двигателя передается, минуя коробку подач, через передачу 55/66 для ускоренного перемещения. Одной из муфт M_6, M_8, M_{10} включается соответственно поперечное, продольное или вертикальное перемещение; муфты M_7, M_9 и M_{11} реверсируют соответствующие движения. Каждый ходовой винт может вращаться, а два из них — для стола и консоли — также движутся поступательно относительно неподвижных гаек. В гайках горизонталь-

ных перемещений предусмотрено регулирование зазора, в гайке консоли зазор выбирается ее силой тяжести.

Конструкция узлов горизонтально-фрезерных станков. Характерной особенностью *шпиндельного узла* любого фрезерного станка являются устройство *1* (рис. 5.5) для крепления в шпинделе *4* хвостовика фрезы или оправки и торцовая шпонка *5* для передачи крутящего момента со шпинделя на фрезу. Хвостовик инструмента (оправка) втягивается в шпиндель резьбовым шомполом или тягой с отдельным приводом до контакта с центрирующим несамотормозящим (7:24) конусом шпинделя. Удельные давления в конусе определяют жесткость соединения. Для опор шпинделя применена простейшая комбинация подшипников качения с предварительным натягом: спереди — радиальный двухрядный роликовый *3*, сзади — пара радиально-упорных шариковых *2*. Чтобы ускорить остановку привода при выключении двигателя, используют электромагнитный тормоз *8*, связывающий первый вал (и ротор двигателя) с корпусом. Механизмы привода смазываются с помощью насоса *7*, на который нажимает эксцентричный подшипник *6*.

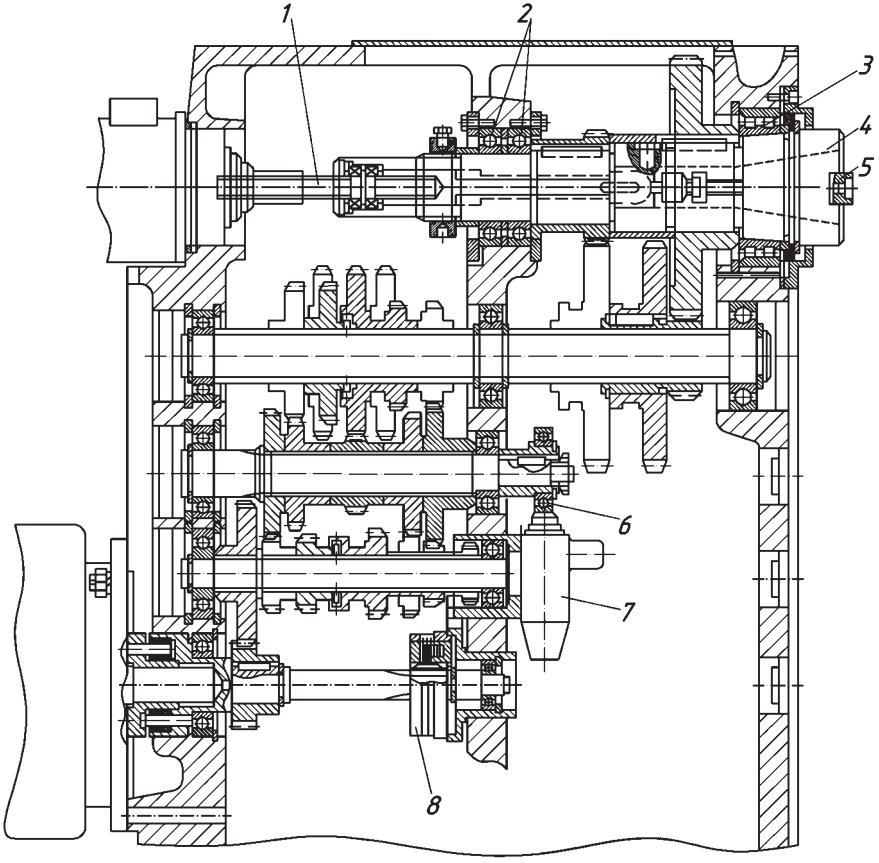


Рис. 5.5. Привод главного движения горизонтально-фрезерного станка

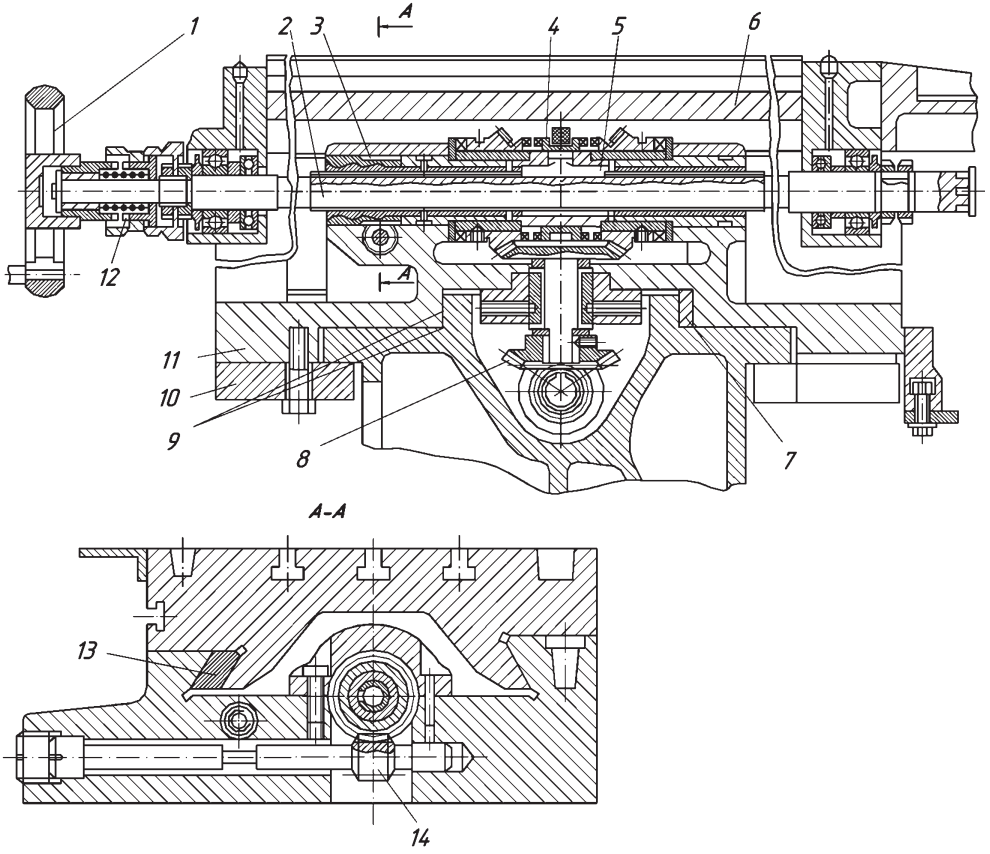


Рис. 5.6. Стол фрезерного станка

Стол *6* фрезерного станка (рис. 5.6) имеет Т-образные пазы для крепления заготовки, направляющие скольжения типа «ласточкин хвост» и передачу винт—гайка для прямолинейного перемещения. Зазор в направляющих регулируют клином *13*, а в передаче — червяком *14*. Ходовая гайка *3* неподвижно закреплена на салазках *11*, а ходовой винт *2* вращается в столе и перемещается вместе с ним. Винт получает вращение от маховичка *1* через муфту *12* или от двигателя коробки подач через коническую передачу *8*, реверсирующий механизм с муфтой *4* и скользящую шпонку *5* (шпоночный паз на винте прорезает резьбу). У направляющих *9* салазок форма прямолинейная, а зазоры регулируют клином *7* и пригонкой планок *10*.

Консоль *1* (рис. 5.7) содержит: многоваловую конструкцию коробки подач; распределительно-реверсирующие механизмы с электромагнитными муфтами (например, на валу *4*); передачу с ходовым винтом *7*, который вращается и перемещается вертикально относительно гайки *6*; ходовой винт *2*, который вращается, перемещая гайку *5* салазок; шлицевый вал *3*, который передает вращение через конические передачи ходовому винту стола.

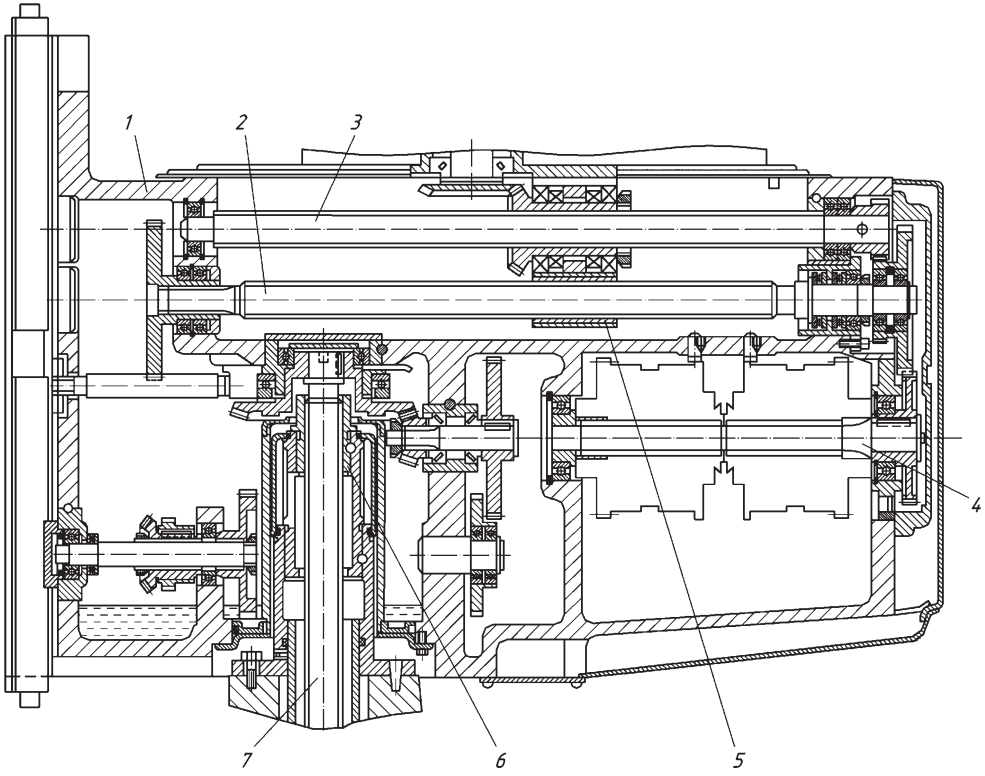


Рис. 5.7. Консоль фрезерного станка

5.3. Другие типы фрезерных станков

Вертикально-фрезерные станки (рис. 5.8) работают преимущественно торцовыми и концевыми фрезами, обрабатывая плоскости, пазы, контуры плоских деталей, например дисковых кулачков. Нижняя часть *консольных станков* (рис. 5.8, *а*) унифицирована с горизонтальными станками, вертикальное перемещение совершает заготовка. Компоновка с консолью *1* (рис. 5.8, *а*) удобна тем, что при изменении высоты заготовки уровень зоны обработки не меняется, но жесткость несущей системы снижена, особенно при удалении стола от стойки, когда увеличен вылет центра тяжести консольной части. Фрезерная головка *2* может быть повернута в вертикальной плоскости.

В бесконсольном станке крестовый стол (стол с салазками) опирается на станину *1* (рис. 5.8, *б*), что обеспечивает высокую жесткость, позволяет повысить точность и обрабатывать более крупные заготовки. Стандартные нормы точности предусматривают выпуск бесконсольных вертикально-фрезерных станков классов точности Н, П, В. По классам Н и П соответствующие допуски на отклонение от прямолинейности обработанной поверхности при длине 250…400 мм равны 16 и 10 мкм, при длине 630…1000 мм — 25 и 16 мкм, причем допуски на соответствующие показатели по классу Н равны допускам для консольных

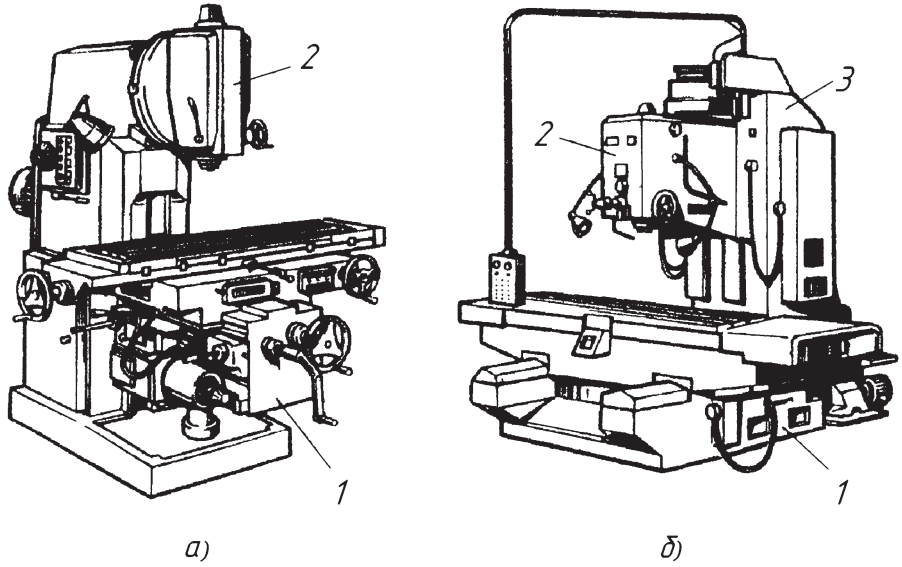


Рис. 5.8. Общий вид вертикально-фрезерных станков:
а — консольный; *б* — бесконсольный (с крестовым столом)

станков по классу П. Вертикальное перемещение фрезерной бабки *2* по стойке *3* используют обычно при наладке в зависимости от высоты заготовки и вылета фрезы.

В вертикальных (консольных и бесконсольных) и некоторых других фрезерных станках шпиндель *3* (рис. 5.9) может выдвигаться из фрезерной головки для точной установки фрезы относительно заготовки и периодического углубления. Для этого служит ручной привод через коническую передачу *12*, вращающийся винт *10*, перемещающуюся гайку *9*, соединенную с гильзой *11*, которая несет опоры шпинделя (нижнюю — с двухрядным роликоподшипником *1* и упорно-радиальным шарикоподшипником *2*, верхнюю — с двухрядным роликоподшипником *8*). После перемещения гильзы ее зажимают (на данном разрезе не показано). Скользящий шлицевой хвостовик шпинделя в данном вертикальном станке получает вращение от конического колеса *7*, сцепленного с колесом *6*. Головку поворачивают с помощью червяка *4* и косозубого сектора *5*.

Продольно-фрезерные станки находят применение при обработке деталей, один из размеров которых существенно превышает два других. Выпускают продольно-фрезерные станки для деталей размерами до 5×6×30 м.

Наибольшее распространение получили продольные фрезерно-расточные станки, оснащаемые несколькими фрезерными бабками, позволяющими проводить обработку деталей с пяти сторон без их переустановки. Различают станки с неподвижным порталом и перемещающимся столом *2* (см. рис. 5.2, *ж* и рис. 5.10) и станки с перемещающимся порталом и неподвижной плитой *2*, на которой закрепляется обрабатываемая заготовка (рис. 5.2, *з*). Станки с подвижным порталом имеют меньшую (примерно на 30%) длину и требуют точной (в пределах 15…20 мкм) синхронизации перемещения стоек портала. Такая

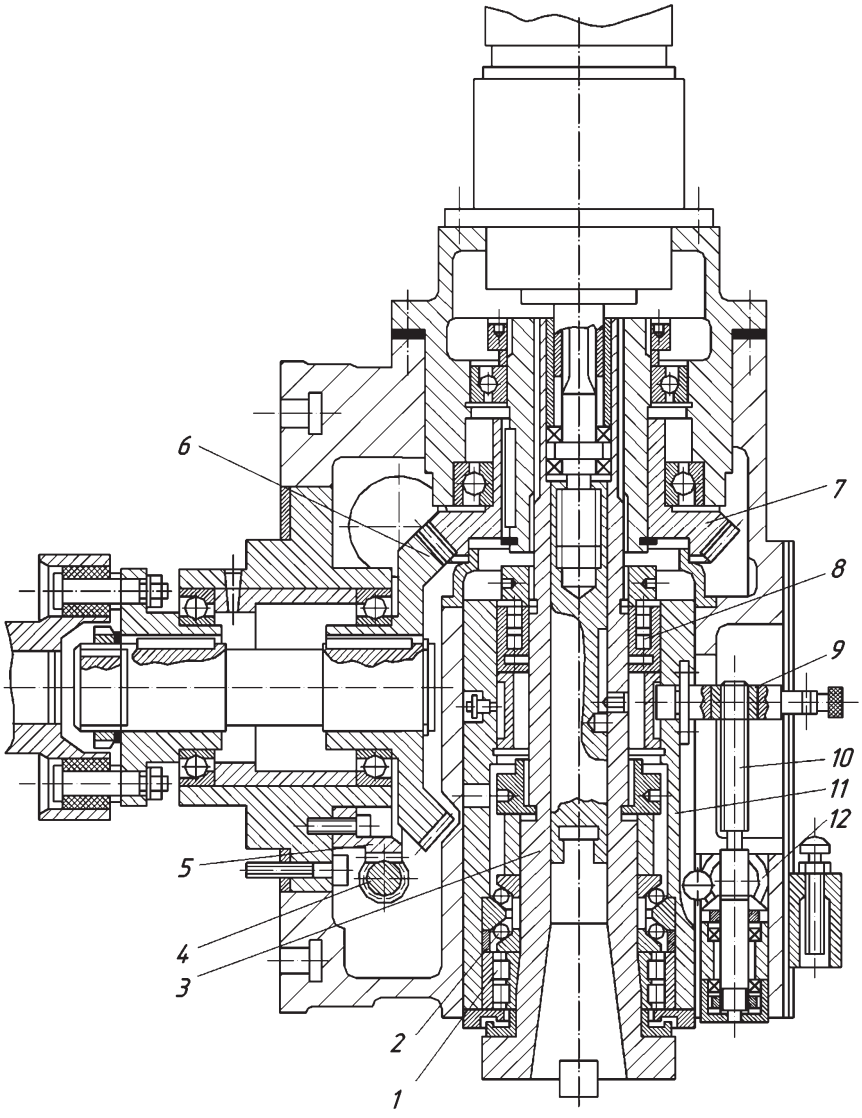


Рис. 5.9. Фрезерная головка вертикального консольно-фрезерного станка

компоновка выгодна при больших габаритах деталей, которые в процессе обработки остаются неподвижными. В станках с подвижным порталом точность перемещения обеспечивается проще — за счет хорошего базирования стола, который может быть одинарным или двойным. В последнем случае на одном столе проводится обработка детали, а на другом, находящемся вне рабочей зоны станка, смена заготовки.

Выпускаются продольно-фрезерные станки с расстоянием между стойками от 2 до 7,5 м и проходом под поперечной 0,8…7,5 м. Размеры стола достигают 5×16 м, а перемещение — до 30 м. Обычно фрезерные бабки выполняются пол-

зунковыми, на которые устанавливаются дополнительные приспособления. Ход ползуна достигает 1500 мм, а его сечение может превышать 500×500 мм. Мощность приводов главного движения фрезерных бабок составляет 40…200 кВт. Несмотря на большие размеры обрабатываемых деталей, станки обеспечивают высокую точность. На прецизионных станках неплоскостность в 10 мкм достигается на площади 3×4 м; непараллельность двух поверхностей лежит в пределах 10 мкм на 1 м и 30 мкм на 10 м.

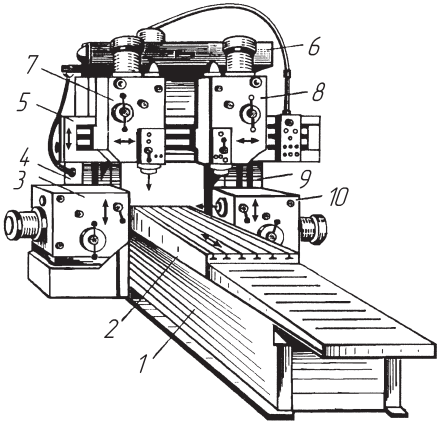


Рис. 5.10. Продольно-фрезерный станок: *1* — станина; *2* — стол; *3*, *7*, *8*, *10* — фрезерные бабки; *4*, *9* — стойки; *5* — поперечина; *6* — бабка

5.4. Фрезерные станки с ЧПУ

Такие станки эффективнее традиционных с ручным управлением ввиду повышенной производительности (более чем в 3 раза) и возможности обработки без специальной дорогостоящей оснастки (шаблонов, фасонных фрез и т. п.). Важной характеристикой является число управляемых координат (от 2 до 5, но чаще 3), в том числе одновременно управляемых (обычно 2—3). Помимо прямолинейных перемещений может программироваться поворот головки с заготовкой или наклон оси фрезерного шпинделя. Дискретность задания перемещения по осям координат обычно 0,01 мм.

Наиболее распространены следующие компоновки фрезерных станков с ЧПУ: вертикальные с крестовым столом, продольные с подвижной (а иногда неподвижной) поперечиной, широкоуниверсальные инструментальные.

Бесконсольный (другое название — с крестовым столом) ***вертикально-фрезерный станок*** с ЧПУ (рис. 5.11) предназначен для выполнения универсальных фрезерных работ в условиях мелкосерийного производства, может выполнять операции сверления и растачивания, обеспечивает высокую жесткость и точность благодаря отсутствию консоли под столом и подвижной гильзы у шпинделя. Любые вертикальные перемещения выполняет шпиндельная бабка.

Технические характеристики станка приведены ниже.

Размеры рабочей поверхности стола (ширина×длина), мм . . . . . 800×2000
Пределы частот вращения шпинделя, мин$^{-1}$ . . . . . .5…4000
Пределы подач, мм/мин. . . . . 1…10 000
Скорость быстрого перемещения стола (бабки)
при бесступенчатом регулировании, м/мин 14

По ГОСТ 9726—89 для такого станка по классу П установлены следующие допуски (мкм): на точность одностороннего позиционирования при длине перемещения свыше 400 до 1000 мм — 25; на круглость отверстия, обработанного фрезой, — 12; на прямолинейность наклонных граней — 20.

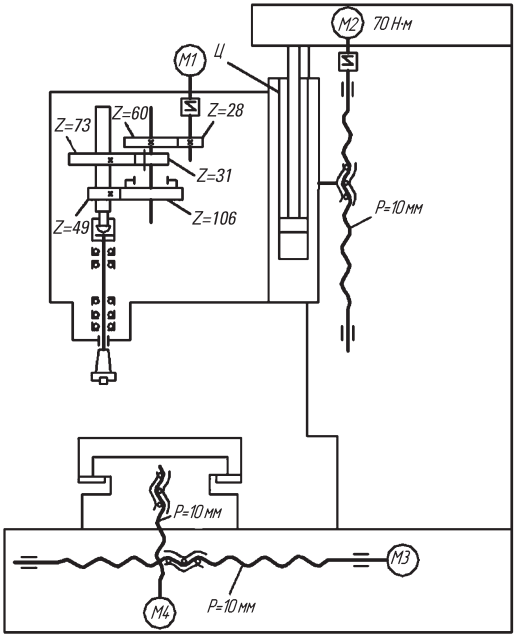


Рис. 5.11. Кинематическая схема станка с ЧПУ

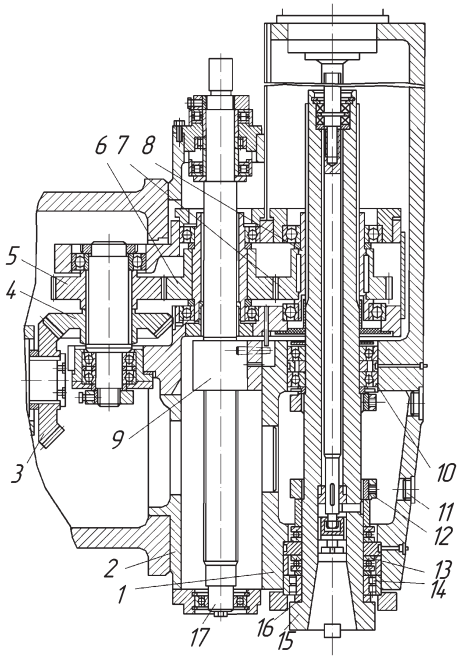


Рис. 5.12. Шпиндельная бабка с ползуном вертикально-фрезерного станка с ЧПУ

Число управляемых (в том числе одновременно) координат — 3. Дискретность задания перемещения 1 мкм.

Привод главного движения содержит двигатель *M1* и устройство для переключения диапазонов регулирования, в котором передвижное колесо $Z = 31$ сопряжено с колесом $Z = 73$ либо входит во внутреннее зацепление с полумуфтой на косозубом колесе $Z = 106$.

Приводы подач и установочных перемещений от регулируемых двигателей *M2, M3, M4* унифицированы. Двигатель *M2* сблокирован с гидроцилиндром зажима шпиндельной бабки (не показан). Гидравлический цилиндр *Ц* уравновешивает бабку.

Особенности конструкции базовых элементов: плоские замкнутые направляющие станка армированы лентой из фторопласта; боковые направляющие шпиндельной бабки имеют роликовые опоры. В опорах шпинделя использованы радиально-упорные подшипники. Для разжима инструмента применен гидроцилиндр.

Шпиндельная бабка (рис. 5.12) вертикально-фрезерного станка с ЧПУ обеспечивает вращение шпинделя *15* и его программируемое осевое перемещение вместе с ползуном *1*. Для вращения служат опоры качения с двухрядным роликовым *14* и упорными шариковыми подшипниками *13* снизу, парой радиально-упорных шарикоподшипников *10* сверху, а также зубчатые колеса *3*, *4*, *5*, *6*, *7*; крутящий момент со шлицевой втулки *8* передается на хвостовик шпинделя. Предварительный натяг в подшипнике *14* зависит от длины кольца *16*, в под-

шипниках *13* — от регулирования гайки *12* (через технологическое отверстие, закрытое пробкой *11*), в подшипниках *10* — от разности длин распорных колец. Ползун *1* характерен для вертикальных станков с ЧПУ (вместо гильзы на станках без ЧПУ). Он перемещается по прямоугольным направляющим (не показаны) с помощью шарикового ходового винта *17* и гайки *9*, винт получает вращение через редуктор (не показан). Зажим инструмента в шпинделе — электромеханический, с использованием стандартного устройства, закрепленного на ползуне сверху. Благодаря центрирующему пояску, сопрягающему корпус *2* бабки со стойкой, можно регулировать наклон оси шпинделя.

5.5. Приспособления для фрезерных станков

Некоторые фрезы крепят непосредственно на шпинделе станка: крупные торцовые фрезы привертывают к торцу шпинделя, фрезы с коническим хвостовиком вставляют в коническое отверстие. Для насадных фрез используют оправки, фрезу с цилиндрическим хвостовиком зажимают в патроне, например цанговом.

В простейшем случае ввертывают шомпол в хвостовик фрезы или оправки ключом за квадрат, выступающий с противоположной стороны шпинделя, однако это неудобно. Системы автоматической смены инструмента требуют оснащения всего комплекта оправок дополнительными деталями для захвата их при зажиме. Чтобы уменьшить время ручной установки инструмента и облегчить ее, применяют быстродействующие зажимные приспособления. Пружина *6* (рис. 5.13, *а*) через шомпол *4* втягивает оправку *3* с фрезой *1* в шпиндель *5*. Для смены оправки в верхнюю полость пневмоцилиндра *8* подается сжатый воздух, поршень *9* через стакан *7* сжимает пружину *6* настолько, чтобы фланец оправки, опустившись, освободился от контакта с торцовой шпонкой *2*. Тогда можно легко и удобно свинтить оправку с шомпола и навернуть другую. Вращающиеся и невращающиеся части разделены упорными подшипниками. Другой вариант содержит пружину *5* (рис. 5.13, *б*), гидроцилиндр *7*, шариковое устройство *6*, заменяющее упорные подшипники, и тягу *4* вместо шомпола. Принцип действия аналогичен предыдущему варианту, но для разъединения оправки *2* (с фрезой *1*) и тяги *4* достаточно поворота ее на 90°. Тогда Т-образный конец тяги пройдет через паз детали *3*, ввернутой в оправку.

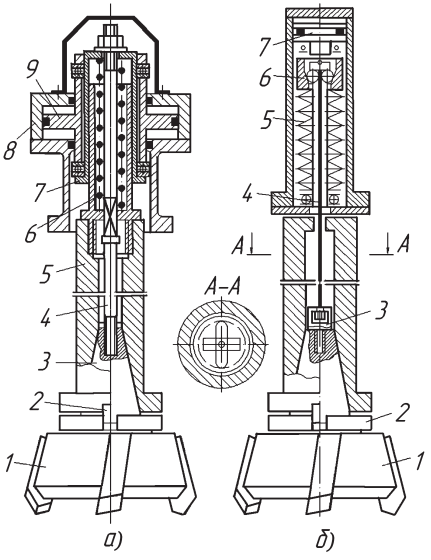


Рис. 5.13. Приспособления для механизированного закрепления фрез в шпинделе

Заготовки устанавливают и закрепляют с помощью прихватов, подставок, угловых плит, призм, тисков, дополнительных

столов и других приспособлений. Тиски и столы могут быть неповоротными и поворотными вокруг вертикальной оси. С помощью универсальных тисков возможен поворот вокруг двух перпендикулярных осей.

Круглые поворотные столы применяют при обработке цилиндрических, граненых, фасонных поверхностей. Непрерывный или периодический поворот заготовки возможен вручную или от электро- (гидро-, пневмо-) привода. Можно сообщить движение поворотному столу также от привода основного стола станка, а именно от правого конца продольного ходового винта через зубчатые колеса и карданный вал. Непрерывный поворот стола можно использовать для обработки по типу карусельно-фрезерных станков.

Делительные головки применяют в основном на консольно-фрезерных станках для установки заготовки и периодического поворота ее на заданные углы, например, для прорезания впадин у зубчатых венцов или непрерывного поворота, согласованного с движением вдоль оси, для получения винтовых канавок на сверлах и других инструментах.

5.6. Многоцелевые станки для обработки корпусных и плоских деталей

Металлорежущие станки, предназначенные для выполнения большого числа различных технологических операций без переустановки обрабатываемых деталей, имеющие устройство автоматической смены инструмента и оснащенные системами ЧПУ, называют *многоцелевыми* (МЦ). Корпусные и плоские детали можно обрабатывать с одной установки с нескольких сторон (до пяти). Типовыми технологическими операциями являются растачивание, сверление, зенкерование, развертывание, цекование, нарезание резьбы метчиками, фрезерование плоскостей, контуров и фасонных поверхностей. При высокой концентрации выполняемых технологических операций для МЦ характерна высокая точность обработки (6-й, 7-й квалитет).

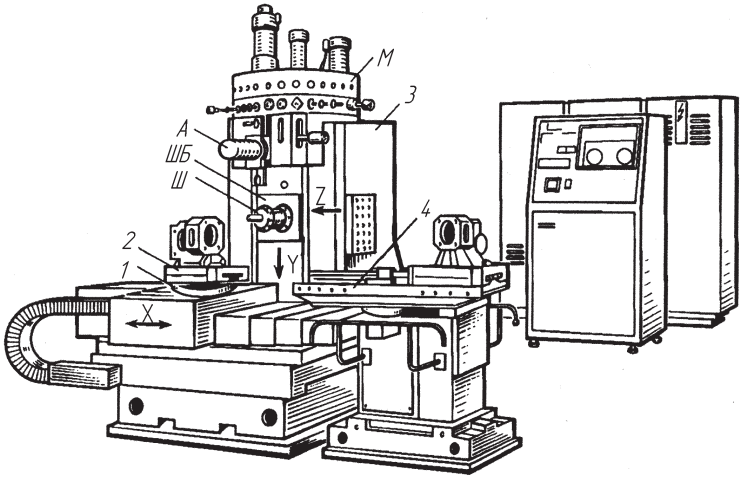


Рис. 5.14. Общий вид МЦ с горизонтальной осью вращения шпинделя

Многоцелевые станки снабжают необходимым режущим инструментом, расположенным в специальном инструментальном магазине. В соответствии с заданной управляющей программой используется любой инструмент из магазина, требуемый для обработки соответствующей поверхности. Все более широкое применение находят также устройства автоматической смены заготовок, предварительно закрепленных на столах-спутниках.

Многоцелевые станки для обработки корпусных и плоских деталей по компоновке выполняют *горизонтальными, вертикальными и продольно-обрабатывающими*. При горизонтальной компоновке (рис. 5.14) ось вращения шпинделя *Ш* расположена горизонтально, и такие станки чаще всего используют для обработки сложных корпусных деталей. Шпиндельная бабка *ШБ* перемещается (координата *Y*) по вертикальным направляющим стойки *3*, которая может быть подвижной (координата *Z*) или неподвижной. Отдельные станки имеют выдвижной шпиндель. На продольном столе *2* (координата *X*) расположен поворотный стол *1*. На верхнем торце стойки смонтирован инструментальный магазин *М*. В устройство автоматической смены инструмента входит автооператор *А*. Поворотная платформа *4* служит для установки на столе-спутнике очередной заготовки во время обработки предыдущей детали той же или совершенно иной конфигурации.

На МЦ *вертикальной компоновки* (рис. 5.15) ось вращения шпинделя *Ш* расположена вертикально. Станки удобны при обработке многих плоских деталей сложной формы (штампов, пресс-форм, рычагов, крышек, фланцев и т. д.). Шпиндельная бабка *ШБ* перемещается (координата *Z*) по вертикальным направляющим стойки. Шпиндель обычно выдвижной. Продольный и поперечный суппорты обеспечивают перемещение детали по координатам *X* и *Y*. Варианты конструкции инструментального магазина *М* и автооператора *А* весьма разнообразны.

Типоразмерные ряды МЦ строятся по ширине стола (от 100 до 5000 мм) с коэффициентом геометрической прогрессии 1,26. Перемещения рабочих органов назначают по наибольшему размеру заготовок, устанавливаемых на стол, с учетом возможности выхода режущего инструмента за пределы обрабаты-

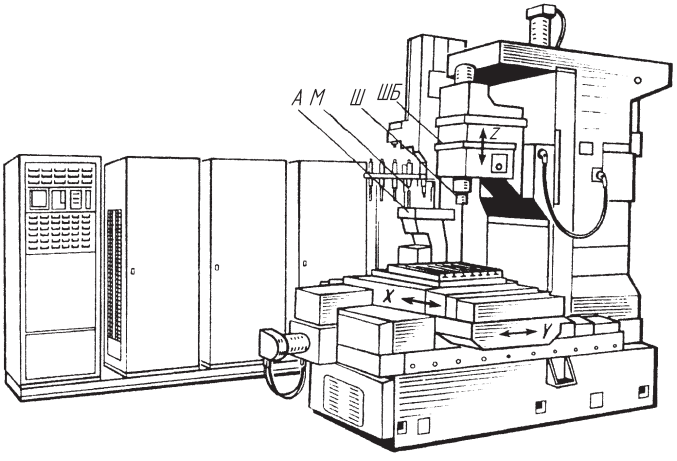


Рис. 5.15. Общий вид вертикального МЦ

ваемых поверхностей. В условиях мелкосерийного и серийного производства доля машинного времени в общем времени работы МЦ достигает 70…90% (для сравнения: доля машинного времени на универсальных станках составляет 20…30%), а производительность изготовления деталей превышает производительность обработки на универсальных станках до 5 раз.

Современные МЦ имеют в приводах главного движения чаще всего достаточно мощные электродвигатели с широким регулированием частоты вращения, что обеспечивает работу каждого инструмента в оптимальных режимах. Диапазон регулирования частоты вращения таких электродвигателей от номинальной при постоянной мощности достигает 8:1, а при постоянном крутящем моменте до 1:1000. Механическая часть приводов значительно упрощена и представляет собой двух- и трехступенчатую коробку скоростей, благодаря чему достигаются высокие динамические качества приводов.

Приводы подач МЦ обеспечивают широкий диапазон регулирования рабочих подач (до 10 000 раз и более) при постоянном крутящем моменте, высокую скорость вспомогательных перемещений (до 20 м/мин), достаточные тяговые усилия, стабильность и надежность работы. Выполнение этих требований обусловливает широкие возможности МЦ, их высокую точность и производительность.

Кинематическая схема станка мод. ИР320ПМФ4 *с горизонтальной осью вращения* шпинделя приведена на рис. 5.16. Привод главного движения имеет две кинематические цепи. В диапазоне частот вращения шпинделя 1290… 5000 мин$^{-1}$ движение от регулируемого электродвигателя *М1* передается через ременную передачу *1*, *2* и зубчатую муфту *5*. В диапазоне частот вращения шпинделя *13* — 1290 мин$^{-1}$ движение от *М1* передается через передачу *1*, *2* и зубчатые колеса *4*, *3*, *6* и *7*. Прямолинейные перемещения по координатам осуществляются как в режиме установочных движений, так и в режиме подач от регулируемых электродвигателей *М2*, *М3* и *М4* через винтовые пары качения *8—9, 27—28, 29—30*. Вращение поворотного стола (координата *В*) осуществляется от электродвигателя *М5* в двух режимах. В режиме скоростного вращения (обтачивание) зуб-

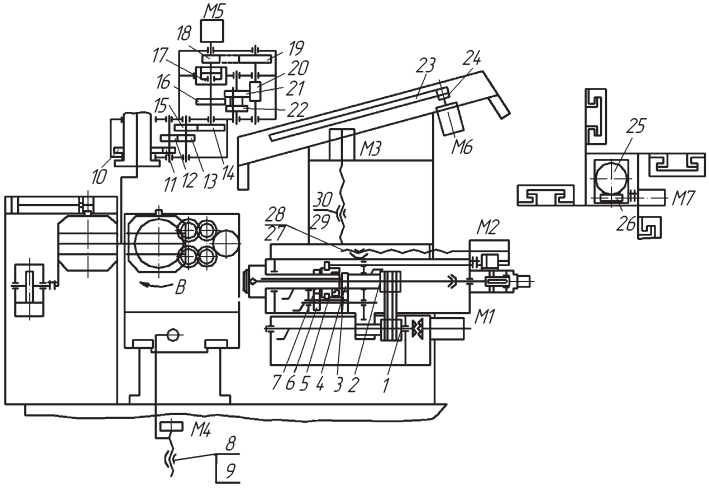


Рис. 5.16. Кинематическая схема МЦ мод. ИР320ПМФ4

чатая муфта *17* передает движение на стол с частотой вращения 10…200 мин$^{-1}$ через зубчатые колеса *14*, *15*, *13*, *12*, *11*, *10*. В следящем режиме (круговое фрезерование) муфта *17* подключает зубчатые колеса *18*, *19*, *20*, *21*, *22*, *16*, в результате частота вращения стола снижается до 0,05…10 мин$^{-1}$. Привод поворота инструментального магазина содержит регулируемый электродвигатель *M6* и зубчатые колеса *23*, *24*. Привод устройства автоматической смены столов-спутников с заготовками имеет электродвигатель *M7* и червячную передачу *26*, *25*.

На рис. 5.17 показан пример привода главного движения МЦ горизонтальной компоновки. Электродвигатель *1* соединен муфтой *2* с шлицевым валом *3*. Через поликлиновой ремень *7* вращение передается на втулку *9*, смонтированную на подшипниках *8* в корпусе *6*. На правом конце втулка имеет зубчатый венец, который может быть соединен либо с зубчатым колесом *4* блока *10* (как на рис. 5.17), либо с зубчатой муфтой *12*. В первом случае вращение шпинделю *14* передается через колесо *13*. Во втором случае вращение шпинделю *14* передается непосредственно от втулки *9*. Переключение двухступенчатой коробки скоростей производится гидроприводом с помощью вилки *11*, установленной на штанге *5*.

Шпиндельные узлы МЦ являются многофункциональными механизмами, которые служат для установки режущего инструмента, сообщения ему вращения и автоматической замены. При этом требования к основным характеристикам шпиндельных узлов (точности, жесткости, диапазону регулирования частот вращения, быстроходности, надежности и долговечности) постоянно повышаются. Наиболее распространены в МЦ невыдвижные шпиндели на подшипниках качения (рис. 5.18). Опоры шпинделя монтируются либо в корпусе шпиндельной бабки, либо в вынесенной вперед гильзе *11* с фланцем для ее крепления в корпусе бабки. Такая конструкция шпинделя позволяет создать на единой конструктивной базе различные модификации шпиндельных узлов по размеру и конфигурации поверхностей для закрепления инструмента, диапазону регулирования частот вращения, положению оси вращения шпинделя, а также облегчает монтаж, регулирование и ремонт шпиндельных узлов.

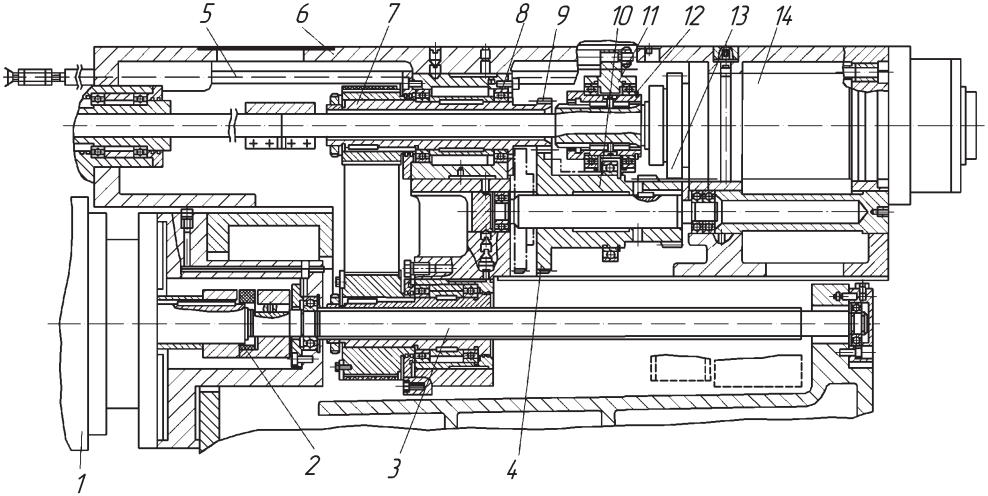


Рис. 5.17. Привод главного движения МЦ горизонтальной компоновки

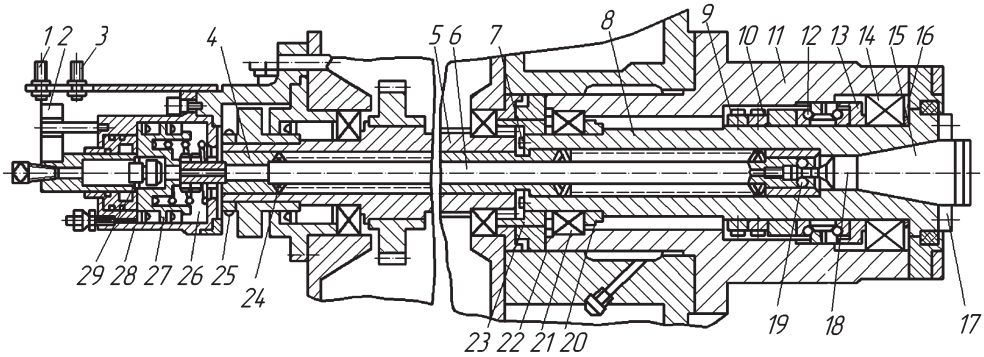


Рис. 5.18. Шпиндельный узел горизонтального МЦ

На рис. 5.18 шпиндель *8* установлен в гильзе *11* на двухрядных роликовых подшипниках *14* и *21*, воспринимающих радиальную нагрузку. Осевую нагрузку воспринимает шариковый упорно-радиальный подшипник *12*. Натяг в переднем радиальном подшипнике регулируется изменением толщины кольца *16* и перемещением через промежуточное кольцо *13* внутреннего кольца подшипника (с конической шейкой) гайками *9* и *10*. Натяг в аналогичном заднем подшипнике изменяется за счет толщины кольца *20* при затягивании болтов *7*, в результате чего через втулку *22* смещается внутреннее кольцо подшипника.

Крутящий момент на шпиндель передается от привода главного движения через зубчатую муфту *23*. Крутящий момент на режущий инструмент передается через две торцовые шпонки *17*. Инструментальные оправки *15* базируются в шпинделе по коническому отверстию. Зажим оправок осуществляется тарельчатыми пружинами *24*; усилие зажима можно регулировать гайкой *25*. На переднем конце тяги *6* имеется замок, который при перемещении тяги соединяется посредством шариков *19* с хвостовиком *18* оправки. Освобождение оправки вы-

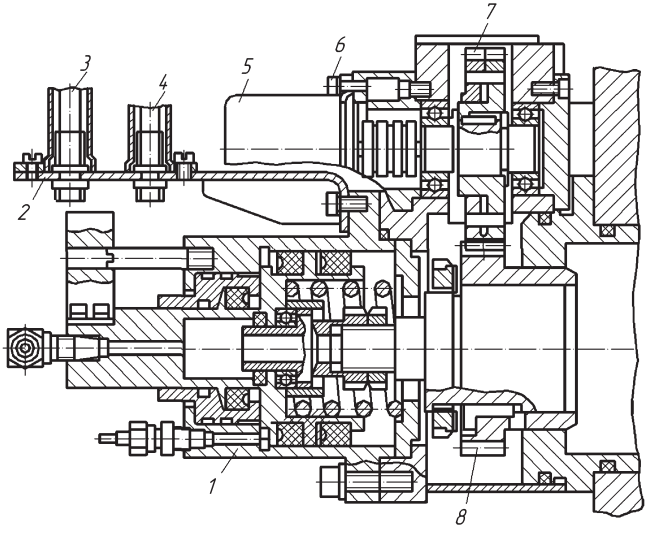


Рис. 5.19. Привод датчика угловой ориентации шпинделя

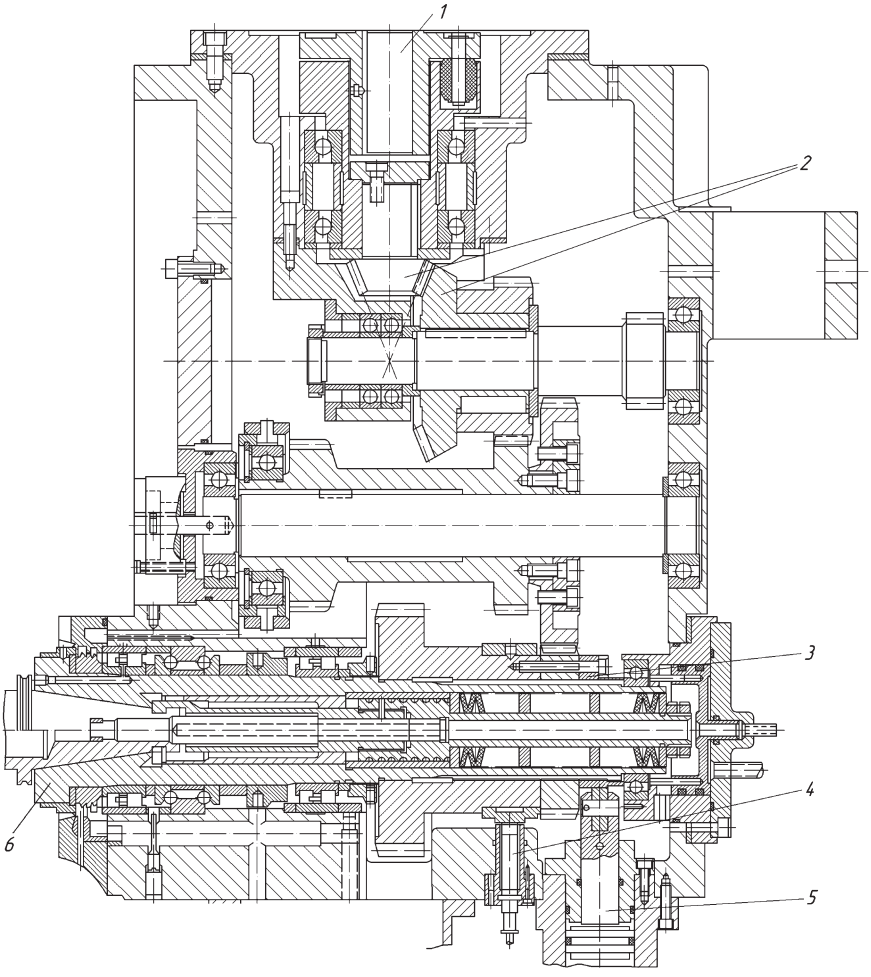


Рис. 5.20. Шпиндельная бабка горизонтального МЦ

полняется гидроблоком *28* через втулку *4*, расположенную в ступице *5*. В поршне *27* гидроблока на подшипнике установлен упор *29*, который перемещает тягу *6*. Освобождение оправки инструмента контролируется бесконтактными датчиками *1*, *2*, *3*. Коническое отверстие шпинделя и конус оправки обдуваются сжатым воздухом через канал *26*.

В корпусе гидроблока (рис. 5.19) с гидроцилиндром *1* расположен привод датчика *5* угловой ориентации шпинделя. Привод состоит из зубчатого колеса *8*, передающего вращение от шпинделя, и сдвоенного колеса *7*, позволяющего компенсировать боковой зазор в зубчатом зацеплении. Датчик крепится на корпусе винтами *6*. Ориентацией шпинделя в заданном угловом положении (для смены инструмента) управляет система ЧПУ. Бесконтактные датчики *3*, *4* установлены на кронштейне *2*.

На рис. 5.20 показан пример шпиндельной бабки горизонтального станка с вертикальным расположением главного двигателя *1*. Вращение от двигателя

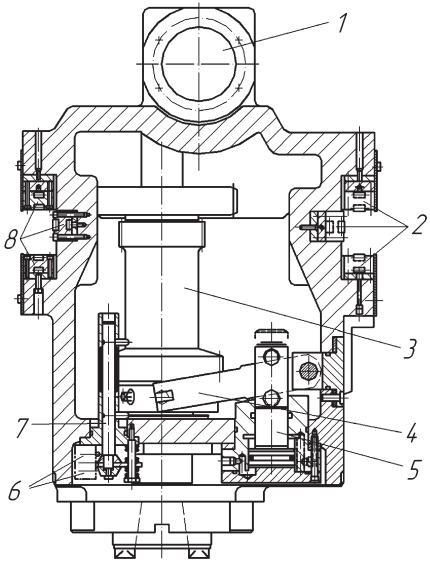


Рис. 5.21. Фрагмент шпиндельной бабки

передается на шпиндель *6* через пару конических колес *2*, вращающихся с большой частотой, что обусловливает весьма высокие требования к точности их изготовления и монтажа. При угловой ориентации шпинделя происходит замедление вращения двигателя и его отключение конечным выключателем *4*, осуществляющим грубое позиционирование. Точное позиционирование производится с помощью гидроцилиндра *5* и ролика, попадающего во впадину кулачка *3*.

На рис. 5.21 приведено поперечное сечение шпиндельной бабки. Вертикальное перемещение бабки производится в направляющих качения *2* и *8* с помощью шариковой винтовой передачи, гайка которой закрепляется на фланце *1* корпуса. Переключение блока зубчатых колес *3* производится гидроцилиндром *5* через рычаг *4*, а контроль положения осуществляется с помощью штока *7* и конечных выключателей *6*.

На рис. 5.22 показан пример привода главного движения МЦ *вертикальной компоновки*. Вращение шпинделя *1* осуществляется либо через ременную передачу *7* при включенной зубчатой муфте *2* и нейтральном положении блока шестерен *3*, либо через коробку скоростей при зацеплении колес *9* и *8*. Шестерни *4* и *5* закреплены на втулке *6*, связанной с хвостовиком шпинделя шпоночным соединением. Механизм перемещения вилки *12* содержит электродвигатель *17*, зубчатую передачу *11* и винт *10*. Между гайкой и вилкой установлена пружина *18*, которая сжимается в случае совпадения зубьев переключаемых элементов, а затем при их медленном повороте досылает муфту в рабочее положение. Величину перемещения вилки настраивают кулачками *13* и *14*, воздействующими на микровыключатели *15* и *16*. Механизм перемещения блока шестерен *3* устроен аналогично.

На рис. 5.23 изображен вариант привода подач МЦ на примере привода вертикальной подачи шпиндельной бабки (см. также рис. 5.14, координата *Y*). Регулируемый электродвигатель *7* закреплен на стойке МЦ с помощью основания *6*; он соединен с ходовым винтом *1* винтовой пары качения через сильфонную муфту *5*, которую устанавливают на конических втулках *9*, *10* и фиксируют болтами *8*. Ходовой винт *1* установлен в радиально-упорном подшипнике *3* в расточке основания *6*. Натяг в упорном подшипнике регулируется за счет изменения длины *L* втулки радиального подшипника при соответствующем повороте гайки *4* и последующем стопорении ее винтом *11*. Гайка качения *2*, работающая в паре с ходовым винтом *1*, закреплена на шпиндельной бабке. В электродвигатель встроена тормозная муфта, предотвращающая падение шпиндельной бабки при отключении электропитания. Обратная связь по положению рабочего органа (координата *Y*) осуществляется с помощью датчика.

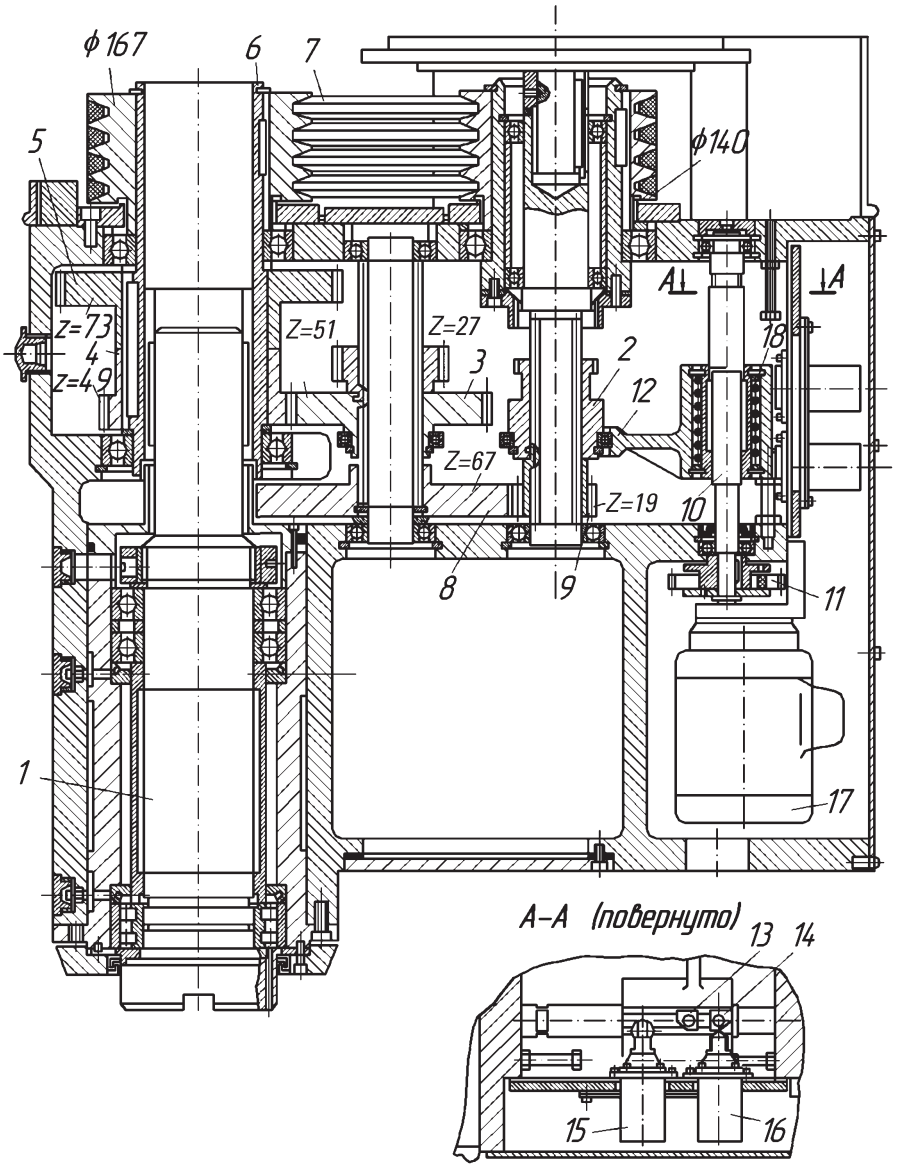


Рис. 5.22. Привод главного движения МЦ вертикальной компоновки

Вариант конструкции привода поворотного стола МЦ, показанный на рис. 5.24, содержит червячную передачу *15*, *14*. Червяк *15* соединен через муфту с высокомоментным электродвигателем. Поворотный стол *5* вместе с фланцем *13* и гидроцилиндром *11* установлен на неподвижной оси *1* в корпусе *18* прямоугольного стола (см. также рис. 5.14, координата *X*). Перед поворотом выводятся из зацепления полумуфты *2* и *3* с треугольным профилем, фиксирующие поворотный стол относительно корпуса *18*, для чего стол приподнимается поршнем

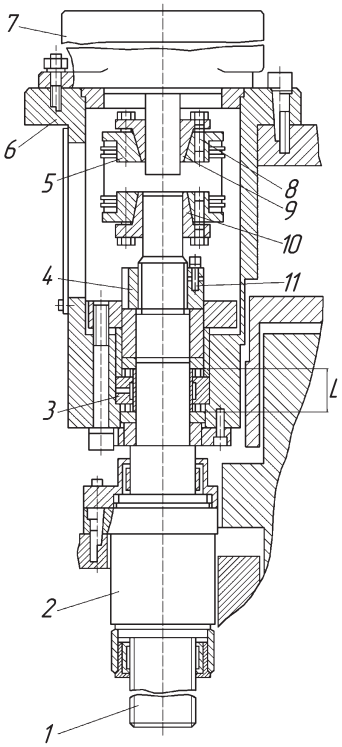


Рис. 5.23. Привод подач МЦ

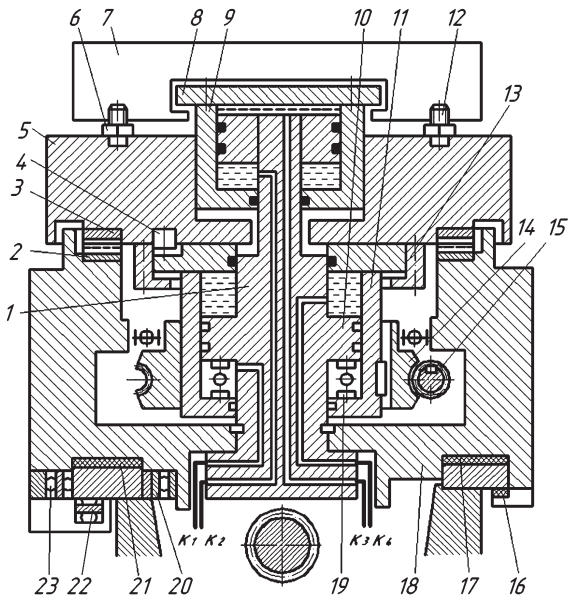


Рис. 5.24. Привод поворотного стола МЦ

10. При этом масло подается по каналу K_4 и стол вместе с гидроцилиндром перемещается вверх до тех пор, пока не будет выбран зазор в упорном шарикоподшипнике *19*. Электродвигатель через червячную передачу *15—14* поворачивает гидроцилиндр и связанный с ним шпонкой *4* стол на заданный угол. По окончании поворота масло подается по каналу K_1 и стол опускается с фиксацией зубьями полумуфт. В верхней части поворотного стола расположен гидроцилиндр *9* для закрепления столов-спутников *7*, которые базируются пальцами *6*, *12* и поджимаются фланцем *8* при подаче масла по каналу K_2. Для снятия спутников с фиксаторов масло подается по каналу K_3 в верхнюю полость гидроцилиндра *9*. Прямоугольный (основной) стол имеет направляющие скольжения с накладками *16*, *17*, *21* из фторопласта и роликовые направляющие качения *20*, *22*, *23*.

Конструкция поворотного стола приведена на рис. 5.25. Вращение стола осуществляется червячной парой *9*, а точная угловая ориентация — круговым индуктосином. Статор *3* индуктосина установлен на фланце *4*, который, в свою очередь, через трубу *5* закрепляется к неподвижному корпусу *11* стола. Ротор *2* индуктосина через фланец *1* установлен на поворотной части стола *6*. При повороте стол базируется в цилиндророликовых подшипниках *12*. Фиксация поворотной части стола после поворота осуществляется с помощью фрикционного тормоза, один диск *7* которого закрепляется на поворотной части, а другой *8* — на неподвижной части стола.

При подаче масла в отдельные карманы *13* зажимного устройства (выполненного в виде отверстий с вставленной в них манжетой) происходит закрепление

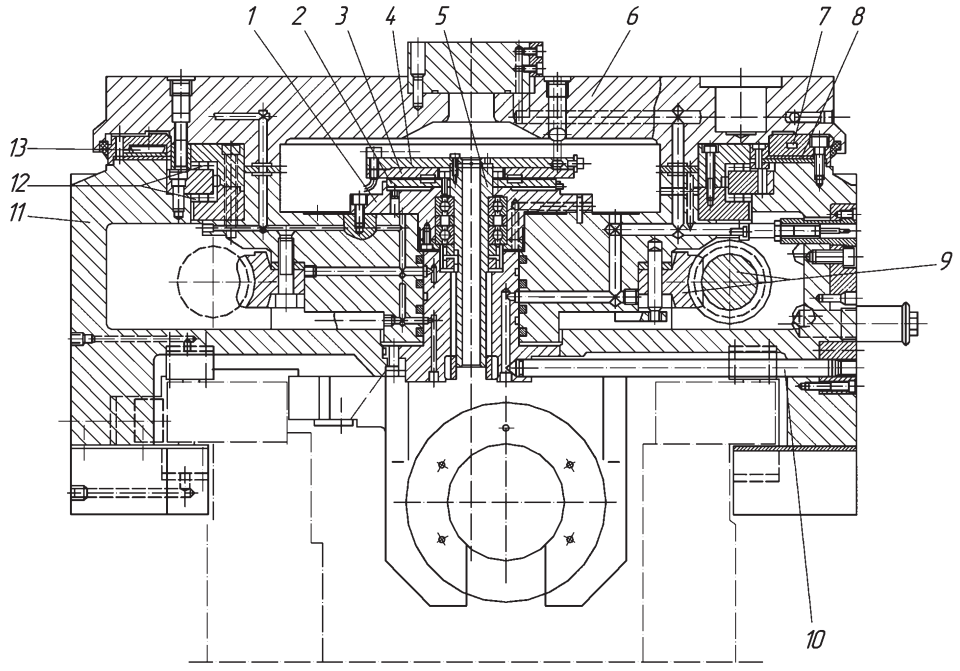


Рис. 5.25. Поворотный стол МЦ

поворотной части. Подача масла и воздуха в спутник при его установке на столе производится по соответствующим трубопроводам *10*.

Многоцелевой станок отличает высокое быстродействие всех механизмов. Скорость вспомогательных перемещений приводов подач достигает 20 м/мин. Устройства автоматической смены инструмента обычно имеют цикл работы 3…6 с. Время автоматической смены заготовок при использовании столов-спутников может занимать 20…70 с. В то время как один из столов-спутников находится на станке и установленная на нем заготовка обрабатывается, на других столах-спутниках могут производиться следующие операции: смена обработанной заготовки на необработанную, переустановка и зажим частично обработанной заготовки в другое положение, доставка заготовки после обработки в позиции контроля или промывки, доставка детали на межоперационные транспортные устройства.

Комплект режущего и вспомогательного инструмента для МЦ при обработке корпусных и плоских деталей показан на рис. 5.26. Вспомогательным инструментом является ряд шпиндельных оправок, переходных оправок и зажимных патронов. Непосредственно в шпинделе станка закрепляются: оправки *а*, *б*, *в* — для расточного инструмента; оправки *г*, *д*, *е* — для фрез с торцовой или продольной шпонкой, передающих крутящий момент режущему инструменту; цанговый патрон *ж* — для сверл, зенкеров, разверток и небольших фрез, имеющих цилиндрический хвостовик; специальный патрон *з* — для метчиков; патрон *и* — для переходных оправок *н—ф*, позволяющих регулировать осевое положение инструмента; оправка-центроискатель *к*; оправка *л* — для концевого инструмента

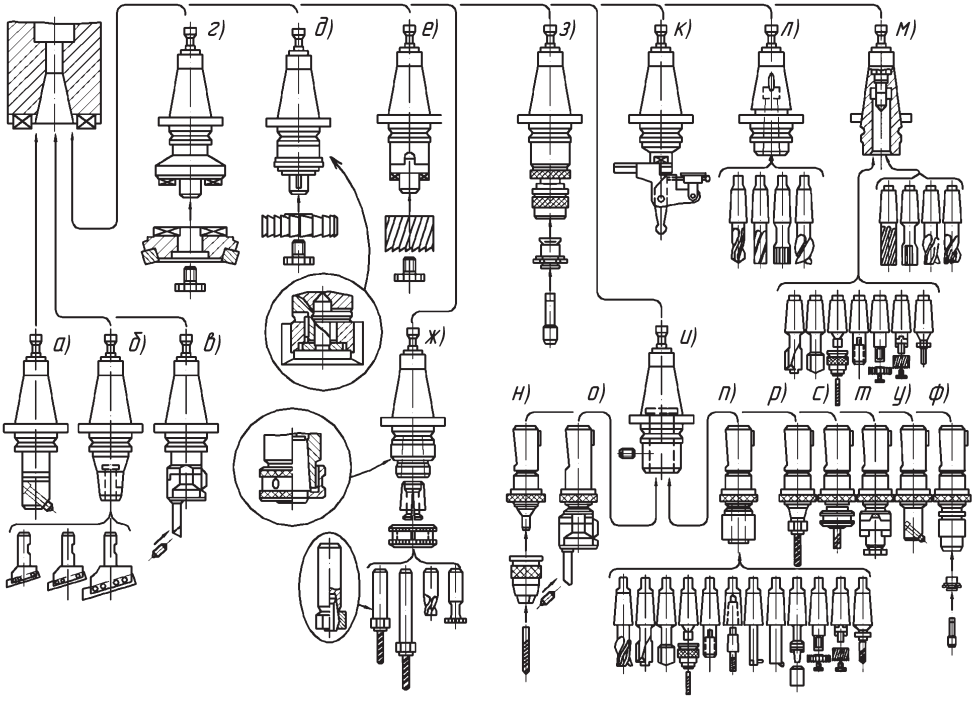


Рис. 5.26. Комплект режущего и вспомогательного инструмента для МЦ

с конусом Морзе и поводком; оправка *м* — для концевого инструмента с конусом Морзе без поводка.

На рис. 5.27 показан вариант привода поворота инструментального магазина, размещенного на верхнем торце стойки *2* станка (см. также рис. 5.14). Приводом поворота магазина (с вертикальной осью вращения) служат регулируемый электродвигатель *10* и зубчатая передача *12*, *18*. Угол поворота отсчитывается с помощью датчиков *14* и *15*, установленных на кронштейне *13*: датчик *14* взаимодействует с упором *17*, фиксирующим исходное положение магазина, а датчик *15* — с упорами *16*, установленными против каждого гнезда *20* и служащими для отсчета гнезд инструментальных оправок *21*. Корпус магазина *19* имеет круговые направляющие скольжения с накладками *3*, *4*, *5*.

Магазин оснащен фиксирующим устройством. На валу электродвигателя закреплен диск *11* с двумя полукруглыми пазами *П*. Когда инструментальная оправка подходит к позиции смены инструмента, ролик *9* вводится штоком гидроцилиндра *6* в паз диска, а датчик *8* подает команду на выключение электродвигателя и вызов автоматического цикла смены инструмента. Перед следующим поворотом ролик выводится из паза диска и датчик *7* включает электродвигатель. Инструментальные оправки фиксируются в гнездах магазина фиксаторами *24* с шариками *23* и пружинами *22*. Датчик *1* контролирует наличие оправки в соответствующем гнезде. Каждая оправка устанавливается в гнездо магазина в определенном угловом положении по направляющей шпонке, что необходимо

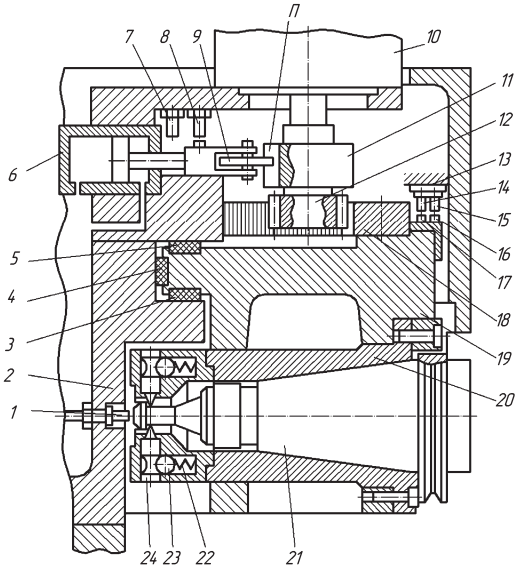


Рис. 5.27. Привод инструментального магазина

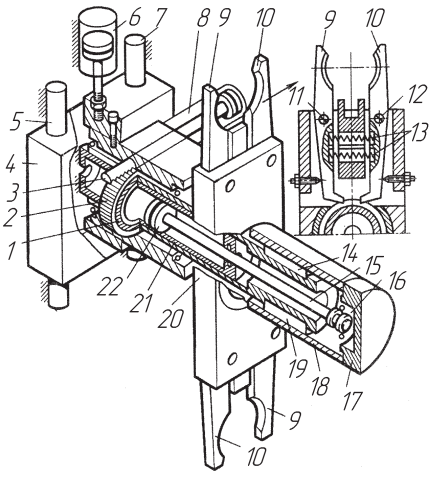


Рис. 5.28. Автооператор

для совмещения паза оправки со шпонками шпинделя, который при смене инструмента также останавливается в определенном угловом положении.

Чтобы захватить инструмент из магазина, корпус *4* автооператора (рис. 5.28) поднимается гидроцилиндром *6* по цилиндрическим направляющим *5*, *7* и один из захватов фиксирует фланец соответствующей оправки. Захваты *9*, *10* с пружиной *13* и осями *11*, *12* смонтированы в корпусе *20*, соединенном с гильзой *18*. В крышке *17* гильзы закреплен шарикоподшипник *16*, посаженный на шток *15* гидроцилиндра *21*. При перемещении поршня *22* движется гильза *18* с захватами и оправки с режущим инструментом выводятся из гнезда магазина или из посадочного конуса шпинделя. Для поворота корпуса *20* с захватами на 180° служат гидроцилиндр *8* и рейка *3*, которая зацеплена с зубчатым венцом *2*, закрепленным на стакане *1*. Правая часть стакана соединена двумя шпонками *14* и *19* с гильзой *18*.

Устройство автоматической смены столов-спутников с обрабатываемыми деталями показано на рис. 5.29 (см. также рис. 5.14). Спутник *11* устанавливают на поворотную платформу *7* (вместимостью два спутника), на которой смонтированы гидроцилиндры *10* и *13* с Т-образными захватами *6* и *14* на штоках. При установке на платформу (перемещение по стрелке Б) спутник скобой *12* входит в зацепление с захватом *14*.

Спутник базируется в позиции ожидания и может перемещаться гидроцилиндром *10* по роликам *8* и *9*. Очередную заготовку закрепляют на спутнике во время обработки предыдущей заготовки в позиции ожидания либо вне платформы.

После завершения обработки заготовки стол станка автоматически передвигается к устройству смены спутников и фигурная скоба спутника входит в зацепление с захватом *6*, предварительно выдвинутым штоком по стрелке *А*. Затем гидроцилиндром *13* спутник с обработанной заготовкой перемещается

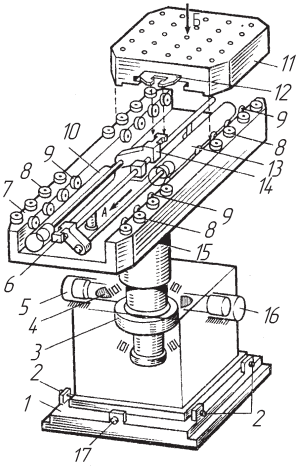


Рис. 5.29. Устройство автоматической смены столов-спутников

на платформу. Чтобы поменять два спутника местами, платформа со стойкой *15* поворачивается на 180° с помощью привода, имеющего гидроцилиндры *5*, *16* и реечную передачу *4*—*3*. Положение платформы относительно стола станка можно регулировать болтами *2*, *17*, расположенными на плите *1*.

Обработка на МЦ с интенсивным, во многих случаях длительным процессом резания требует эффективного охлаждения смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, а также удаления стружки из зоны обработки. МЦ обычно снабжаются системами СОЖ производительностью до 100…150 л/мин. В условиях автоматической работы станка при изменяющихся в широких пределах размерах заготовок и оснастки необходимо, чтобы СОЖ попадала в различные зоны обработки и места возможного скопления стружки. Для этого СОЖ подается через несколько регулируемых каналов в гильзе шпинделя и вокруг него. При обработке труднодоступных мест можно подавать СОЖ непосредственно через инструментальную оснастку.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Сверлильные станки

Сверлильные станки предназначены для обработки сквозных и глухих отверстий и других поверхностей концевым инструментом (рис. 6.1) (сверла, зенкера, развертки, метчики). Применяя специальные инструменты и приспособления на сверлильных станках, можно растачивать отверстия, вырезать отверстия большого диаметра в листовом материале (трепанирование), притирать точные отверстия и т. д.

Наиболее распространены следующие типы сверлильных станков:

1) вертикально-сверлильные одношпиндельные станки;

2) радиально-сверлильные станки;

3) настольные одношпиндельные сверлильные станки вертикальной компоновки. Движение подачи в большинстве случаев осуществляется вручную;

4) многошпиндельные сверлильные станки, в которых предусмотрено шарнирное крепление шпинделя и регулирование расстояния между осями шпинделей. Это позволяет проводить одновременную обработку нескольких отверстий;

5) станки для глубокого сверления (горизонтальной компоновки), в которых длина отверстий значительно больше их диаметра. Станки оснащаются устройствами для отвода стружки;

6) агрегатные сверлильные станки, которые состоят из нормализованных узлов и применяются в крупносерийном производстве для обработки корпусных деталей. Станки имеют большое число шпинделей (до 100 и более).

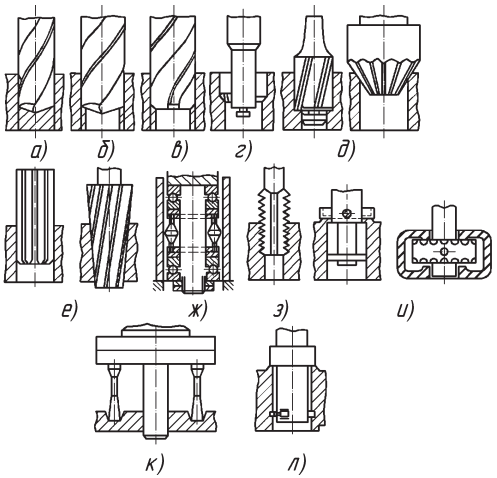


Рис. 6.1. Виды операций, выполняемых на сверлильных станках:
а — сверление; *б* — рассверливание; *в* — зенкерование; *г* — растачивание; *д* — зенкование; *е* — развертывание; *ж* — раскатывание; *з* — нарезание внутренней резьбы; *и* — подрезка (цековка) торцов; *к* — вырезка отверстий большого диаметра; *л* — проточка внутренних канавок

6.1. Вертикально-сверлильные станки

На вертикально-сверлильных станках могут выполняться следующие операции: сверление сквозных и глухих отверстий, рассверливание, зенкерование, развертывание цилиндрических и конических отверстий, зенкование, подрезка (цековка) торцов бобышек и нарезание внутренней резьбы метчиками. При использовании специального инструмента можно увеличить число операций, например, производить раскатывание отверстий роликовыми и шариковыми раскатками, вырезать диски из листового материала резцами в специальной оправке, получать отверстия большого диаметра кольцевыми сверлами, протачивать канавки и т.п. (до 50 операций, включая токарную обработку и фрезерование плоскостей).

Классификацию станков по размерам определяет размерный ряд. Для вертикально-сверлильных станков регламентируется *наибольший условный диаметр сверления в детали из стали 45*. Размерный ряд может быть условно подразделен на три группы: легкие настольные — диаметром 3, 6, 12 мм; средних размеров — диаметром 18, 25, 35, 50 мм и тяжелые — диаметром более 75 мм.

Тип стола станка — обычный подъемный, плавающий, крестовый, поворотный — определяет способ установки заготовки на требуемую координату:

- вручную по разметке и кондуктору — в станках с подъемными и плавающими столами;
- вручную по шаблону — в станках, оснащенных специальными плавающими столами;
- вручную, механически и автоматически по отсчетным устройствам — в станках с крестовыми и поворотными столами.

Вертикально-сверлильные станки с фланцевой пинолью являются базой для специальных станков с многошпиндельными и револьверными головками для одно- и многопозиционной обработки и многошпиндельных станков с раздвижными шпинделями (колокольного типа). Отдельную группу образуют координатно-сверлильные станки повышенной точности, предназначенные для обработки деталей с точностью координат до ±0,05 мм. Эти станки имеют различную степень автоматизации, вплоть до ЧПУ, и универсальную оснастку в виде крестовых и плавающих столов.

Существуют три группы компоновок вертикально-сверлильных станков: типа кронштейн, агрегат (или подвижный моноблок) и пресс (неподвижный моноблок) (рис. 6.2).

Станки с компоновкой типа кронштейн (рис. 6.2, *а*) имеют привод главного движения *2* (коробку скоростей) в виде самостоятельной сборочной единицы, расположенной в верхней части колонны *3*. Шпиндель, коробка подач и механизм перемещения шпинделя расположены в корпусе *1*, образуя узел, традиционно называемый кронштейном.

В станках агрегатной компоновки (рис. 6.2, *б*) все механизмы, осуществляющие вращательное и поступательное движения, объединены, как и в радиально-сверлильных станках, в сверлильной головке *5* с индивидуальным приводом. В станках средних размеров движение подачи сообщается шпинделю *4*, а сверлильная головка имеет лишь установочное перемещение по колонне. В тяжелых

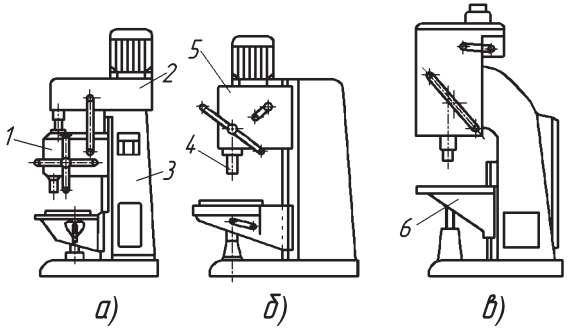


Рис. 6.2. Схема компоновок вертикально-сверлильных станков типа:
а — кронштейн; *б* — агрегат; *в* — пресс

станках (диаметром более 50 мм) движение подачи сообщается всей головке, а шпиндель имеет только вращательное движение. Агрегатная компоновка имеет ряд конструктивных и эксплуатационных преимуществ: упрощение конструкции колонны, возможность создания на основе базового станка гаммы модификаций из унифицированных узлов, упрощение монтажа и смазки узлов станка, удобное расположение органов управления. За счет уменьшения длины ведущей шлицевой части шпинделя повышена крутильная жесткость. Большинство современных вертикально-сверлильных станков имеют агрегатную компоновку.

В станках с компоновкой типа пресс (рис. 6.2, *в*) коробки скоростей и подач, шпиндель и другие устройства расположены в верхней части колонны, а вертикальное установочное перемещение имеет только стол *6*. За счет этого станки обладают повышенной жесткостью, но менее технологичны. Характеристики некоторых вертикально-сверлильных станков приведены в табл. 6.1.

Универсальный вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135. Инструменту, закрепленному в шпинделе сверлильной головки *3* (рис. 6.3), сообщают вращательное главное движение и вертикальное движение подачи. Заготовка, установленная на столе *9*, в процессе резания неподвижна. Несущая колонна *1* прикреплена к плите *11* и снабжена вертикальными направляющими типа «ласточкин хвост» для установочного перемещения стола *9* и сверлильной головки *3*. В сверлильной головке размещены коробки скоростей и подач.

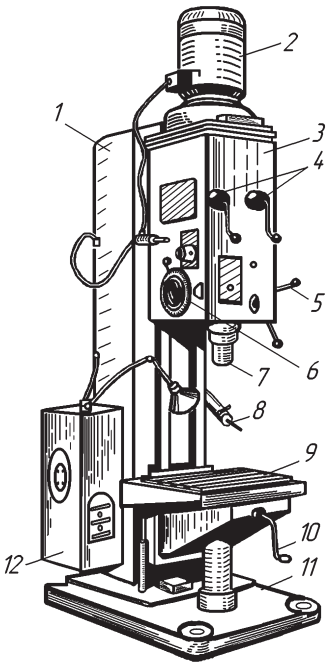


Рис. 6.3. Общий вид вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135:
1 — колонна (стойка); *2* — двигатель; *3* — сверлильная головка; *4* — рукоятки переключения коробок скоростей и подач; *5* — штурвал ручной подачи; *6* — лимб контроля глубины обработки; *7* — шпиндель; *8* — сопло охлаждения; *9* — стол; *10* — рукоятка подъема стола; *11* — фундаментная плита; *12* — шкаф электрооборудования

6.1. Технические характеристики вертикально-сверлильных станков

Параметр	Универсальные вертикально-сверлильные станки						Станки с программным управлением		
	2М112	2Н118	2Н125	2Н135	2Н150	2Г175	2Р135Ф2-1	2Д132МФ2	2С132ПФ2И
Условный диаметр сверления, мм, не более	12	18	25	35	50	75	35	32	50
Размер конуса шпинделя (Морзе №)	1	2	3	4	5	6	4	(7:24) 40	4
Ход шпинделя, мм (суппорта), не более	100	150	200	250	300	750	560	590	250
Рабочая поверхность стола, мм, не более	250×250	320×360	400×450	450×500	500×560	560×630	400×710	400×710	320×1000
Ход стола, мм	Нет	350	270	300	360	300	360/630	400/630	250/500
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$	450…4500	180…2800	45…2000	31.5…1400	22.4…1000	18…800	35.5…1600	45…2000	31,5…1400(4000)
Подача шпинделя, мм/об	—	0,1…0,56	0,1…1,6	0,1…1,6	0,05…2,24	0,02… 4,5	10…500	10…500	0,1…1,6
Усилие подачи, даН, не более	—	560	900	1500	2350	4000	15000	15000	15000
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	0,55	1.5	2,2	4	7,5	10	4/4,5	4/4,5	4

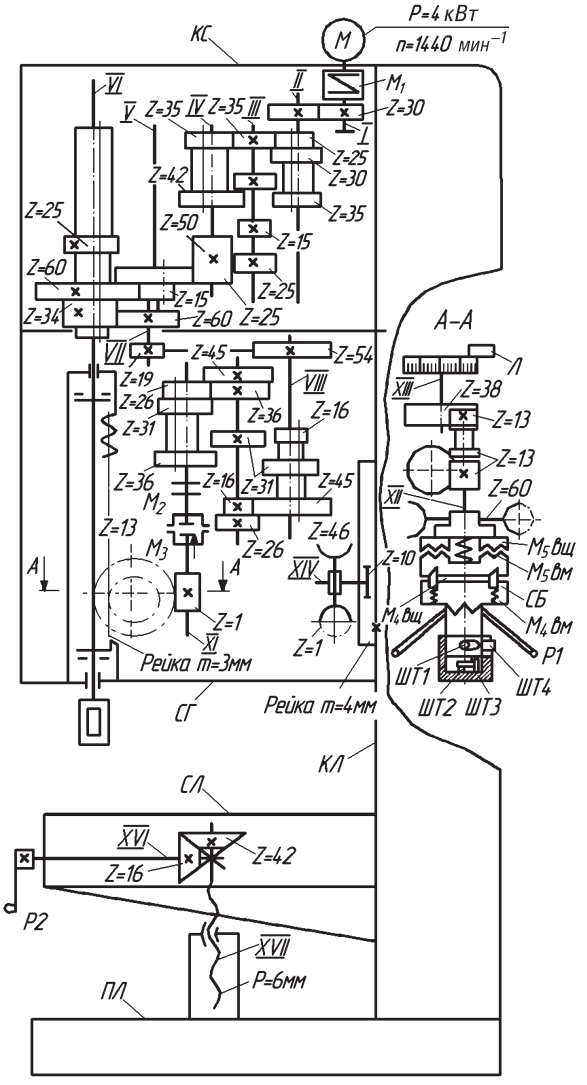


Рис. 6.4. Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135:

M — электродвигатель; M_1, M_2 — соединительные муфты; M_3 — предохранительная муфта; $M_{4\,вщ}$, $M_{4\,вм}$ — ведущая и ведомая полумуфты для подвода от штурвала P_1; $M_{5\,вщ}$, $M_{5\,вм}$ — ведущая и ведомая полумуфты привода подач от электродвигателя; *ПЛ* — плита; *СЛ* — стол; *КЛ* — колонна; *СГ* — сверлильная головка; *КС* — коробка скоростей; *ШТ1* — штифт для передачи движения от штурвала *Р1* при опережении рабочей подачи; *ШТ4, ШТ3, ШТ2* — штифты передачи движения от штурвала при нарезании резьбы; *СБ* — собачка; *Л* — лимб отсчета глубины обработки; *Р2* — рукоятка перемещения стола

Кинематическая схема станка представлена на рис. 6.4.

Цепь главного движения:

$$M \text{—муфта } M_1 \text{—(вал } I\text{)—}Z30\text{—}Z45\text{—(вал } II\text{)—}\begin{matrix}Z25\text{—}Z35\\ Z30\text{—}Z30\\ Z35\text{—}Z25\end{matrix}$$

$$\text{—(вал } III\text{)—}\frac{Z35\text{—}Z35}{Z15\text{—}Z42}\text{—(вал } IV\text{)—}Z25\text{—}Z50\text{—(вал } V\text{)—}\frac{Z15\text{—}Z60}{Z50\text{—}Z25}\text{—}$$

$$\text{—(вал } VI\text{)— шпиндель.}$$

Цепь подачи связывает вращение шпинделя с его прямолинейным движением вдоль оси:

$$\text{(вал } VI\text{)} — Z34 — Z60 — \text{(вал } VII\text{)} — Z19 — Z54 — \text{(вал } VIII\text{)} — \begin{matrix} Z16 — Z45 \\ Z31 — Z31 — \\ Z45 — Z16 \end{matrix}$$

$$— \text{(вал } IX\text{)} — \begin{matrix} Z36 — Z26 \\ Z31 — Z31 \\ Z26 — Z36 \end{matrix} — \text{(вал } X\text{)} — \text{соединительная муфта } M_2 — \text{предохрани-}$$

тельная муфта M_3 — (вал *XI*) — $Z1$ — $Z60$ — $Z13$ — рейка $m = 3$ мм (на гильзе).

Штурвальное устройство сверлильной головки позволяет подвести инструмент к заготовке и отвести его, включить и выключить рабочую подачу, ускорить движение без выключения рабочей подачи, осуществить подачу, используемую при нарезании резьбы.

Из четырех полумуфт M_4 и M_5 с валом *XII* связана шлицами ведомая часть $M_{4\text{вм}}$. Она получает вращение от штурвала *P1* через ведущую часть $M_{4\text{вщ}}$ при подводе. По окончании подвода для врезания требуется большой крутящий момент, который не может быть передан зубьями муфты M_4, сжатыми пружиной на валу *XII*. Полумуфта $M_{4\text{вм}}$ отжимается, преодолевая усилие пружины, муфта M_5 включается и передает вращение валу *XII* от червячного колеса *60* через собачки *СБ* и полумуфту $M_{4\text{вм}}$. Если необходимо осуществить рабочую подачу вручную, вал *XII* поворачивают штурвалом непосредственно через штифт *ШТ1*, при этом собачки *СБ* проскакивают по зубьям торцового храповика на полумуфте $M_{5\text{вщ}}$. Этот храповой механизм является механизмом обгона. Ручная подача для нарезания резьбы включается нажимом колпачка со штифтом *ШТ3* (на рисунке — включена), тогда вращение от штурвала передается штифтами *ШТ4, ШТ3, ШТ2*.

Лимб *Л* связан с валом *XII* передачей 13/38 с внутренним зацеплением и позволяет вести отсчет глубины обработки, а также настраивать положение кулачка, реверсирующего шпиндель и положение кулачка, отключающего подачу на заданной глубине (отключающего муфту M_3 на валу *X*).

Механизм ручного перемещения сверлильной головки состоит из червячной передачи 1/46, реечного колеса *10* на валу *XIV* и рейки с $m = 4$ мм, привернутой к колонне. Колесо *10* перекатывается по рейке и перемещает головку.

Механизм перемещения стола состоит из рукоятки *P2*, конической передачи 16/42, передачи винт—гайка с шагом $P = 6$ мм.

Конструкция *шпиндельного* узла и устройств для зажима инструмента аналогична конструкциям, используемым в радиально-сверлильных станках (см. рис. 6.16).

Коробки скоростей и коробки подач вертикально-сверлильных станков. На рис. 6.5 показана в качестве примера коробка скоростей вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135 с компоновкой типа агрегат. Вертикально расположенные валы коробки смонтированы на шариковых подшипниках, размещенных в двух плитах *1* и *2*, верхней и нижней, скрепленных между собой четырьмя стяжками *3*. В качестве привода используется фланцевый односкорост-

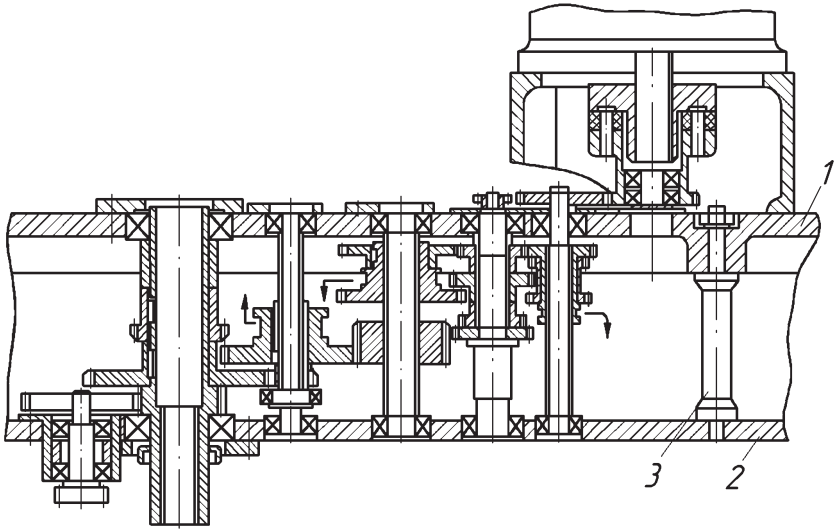


Рис. 6.5. Коробка скоростей станка мод. 2Н135

ной асинхронный двигатель вертикального исполнения, связанный с коробкой скоростей через упругую муфту.

Коробки подач вертикально-сверлильных станков представляют собой многоваловые механизмы, образованные путем последовательного соединения групповых передач. Коробки подач вертикально-сверлильных станков смонтированы в отдельном литом корпусе, который фланцем центрируется в расточке верхней опоры червяка. Привод коробки подач осуществляется через зубчатую передачу от коробки скоростей. Для передачи движения от коробки подач на реечное колесо служат механизмы подач. С их помощью может осуществляться ручной подвод инструмента к детали, включение механической подачи, ручное опережение механической подачи, включение подачи и ручной отвод шпинделя; кроме того, ими обеспечивается ручная подача при нарезании резьбы метчиками, команда на реверс шпинделя при достижении требуемой глубины резьбы и отключение шпинделя при достижении установленной глубины обработки.

Механизация и автоматизация сверлильных станков. Цикл обработки на вертикально-сверлильном станке включает в себя следующие основные элементы: установку, закрепление, открепление и съем обрабатываемых заготовок, их перемещение в точку обработки, управление главным приводом, подвод и отвод инструмента, изменение режимов обработки, установку и съем инструмента, включение и отключение охлаждения, уборку стружки, контроль обрабатываемых заготовок.

Для автоматизации цикла перемещения шпинделя применяют кулачковые, пневмогидравлические, пневмоэлектрические и пневмомеханические устройства. В частности, в автоматизированном универсальном станке мод. 2Н135А используется электромеханическое устройство, позволяющее получить как ускоренную подачу шпинделя от специального электродвигателя, так и механическую от коробки подач. Управление автоматическим циклом производится ку-

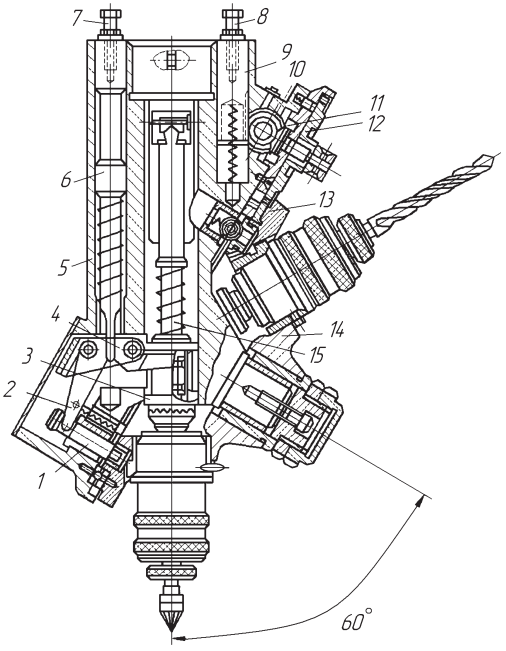


Рис. 6.6. Револьверная шестишпиндельная головка вертикально-сверлильных станков: *1* — фиксатор; *2* — рычаг фиксатора; *3* — ведущая полумуфта; *4* — рычаг муфты; *5* — корпус основной; *6* — стержень; *7*, *8* — упорные винты; *9* — рейка; *10* — зубчатое колесо; *11* — коническая зубчатая передача; *12* — храповой механизм; *13* — зубчатый венец; *14* — поворотный корпус; *15* — ведущий шпиндель головки

лачками, установленными на барабан лимба, кинематически связанного со шпинделем.

В современных станках механизирован процесс удаления инструмента из конуса шпинделя сверлильных станков, использующий для освобождения инструмента ход шпинделя вверх штурвалом механизма подач. Быструю смену инструмента обеспечивают быстросменные патроны.

Револьверные головки (рис. 6.6) используются для обработки отверстий несколькими (от 2 до 7) последовательно работающими инструментами, смена которых осуществляется вручную или автоматически. Ведущий шпиндель *15* головки, корпус *5* которой закрепляется на пиноли станка, получает вращение от шпинделя станка через ведущую полумуфту *3*. Включение шпинделя в рабочей позиции, расфиксация, поворот и фиксация поворотного корпуса *14* головки осуществляются автоматически. При движении пиноли вверх упорные винты *7* и *8* упираются в корпус сверлильной головки станка и толкают вниз рейку *9* и стержень *6*. Стержень *6* через рычаг *4* отключает приводную полумуфту *3* и освобождает рычагом *2* фиксатор *1*. Рейка *9* через коническую зубчатую передачу *11* и храповой механизм *12* проворачивает за зубчатый венец *13* поворотный корпус на одну позицию. При опускании пиноли ведущая полумуфта и фиксатор перемещаются в рабочее положение усилием пружин.

Для перемещения заготовок в требуемое положение применяют столы различных типов: плавающие, крестовые или поворотные.

Плавающие столы предназначены для многокоординатной обработки заготовок по кондуктору или по разметке. Закрепленная на столе заготовка перемещается в двух взаимно-перпендикулярных направлениях от одного органа — маховичка, при вращении которого стол движется в продольном направлении, а при толкании от себя или к себе промежуточные салазки вместе со столом перемещаются в поперечном направлении. Пример конструкции стола с пневмозажимом приведен на рис. 6.7. Встречаются также насадные плавающие столы с фиксирующим устройством и установкой координат по чертежу с помощью копирной плиты.

Крестовые столы предназначены для многокоординатной обработки заготовок без применения кондукторов и разметки. Накладные крестовые столы

позволяют получать детали с точностью межцентрового расстояния до 0,1 мм; стационарные крестовые столы координатно-сверлильных станков обеспечивают точность до 0,05 мм.

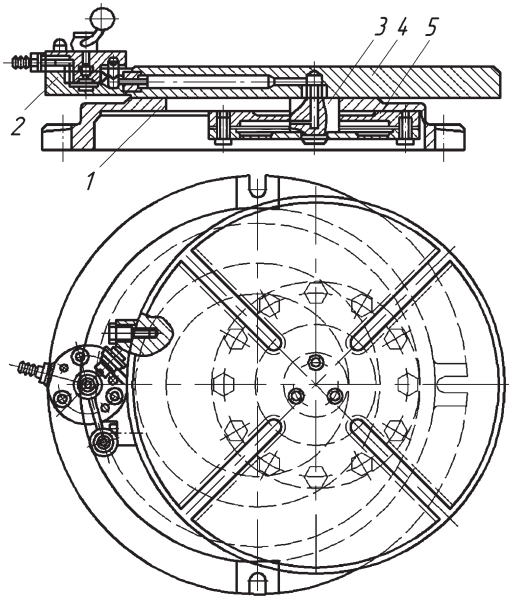


Рис. 6.7. Стол плавающий:
1 — основание; *2* — пневмокран; *3* — цапфа; *4* — подвижный стол; *5* — мембранная камера

Сверлильные станки с ЧПУ. Вертикально-сверлильные станки с ЧПУ, в отличие от аналогичных станков с ручным управлением, оснащены крестовыми столами, автоматически перемещающими обрабатываемую заготовку по координатным осям *X* и *Y* (рис. 6.8), в результате чего отпадает необходимость в кондукторах или в предварительной разметке деталей. Вертикальная подача вдоль оси *Z* осуществляется шпинделем либо сверлильной головкой. Кроме операций, связанных с обработкой отверстий, на сверлильных станках с ЧПУ выполняют и фрезерные операции. Нарезание резьбы метчиками на сверлильных станках с ЧПУ происходит с принудительной подачей метчика и с использованием специальных пружинно-кулачковых патронов. Некоторые сверлильные станки, в частности мод. 2Д132МФ2, оснащены инструментальным магазином и механизмом автоматической смены инструмента.

Вертикально-сверлильный станок мод. 2Р135Ф2-1 оснащен переключаемой по управляющей программе шестипозиционной револьверной головкой, в пяти

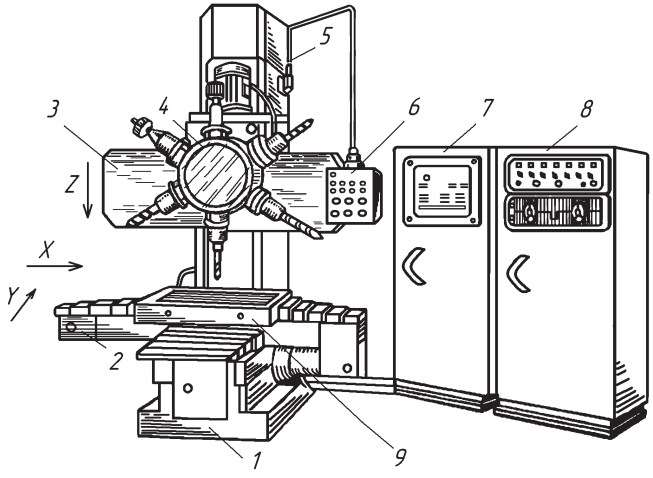


Рис. 6.8. Общий вид вертикально-сверлильного станка мод. 2Р135Ф2-1

позициях которой устанавливают инструмент для обработки отверстий (сверла, развертки и др.), а в одной — фрезы. Станок оснащен устройством ЧПУ, которое обеспечивает одновременное или раздельное перемещение стола по координатам *X* и *Y*, перемещение суппорта с револьверной головкой по координате *Z*, дает возможность управлять поворотом револьверной головки, по программе выбирать величину рабочей подачи и частоту вращения шпинделя.

Общий вид станка показан на рис. 6.8. На основании *1* установлена колонна *5*, по прямоугольным вертикальным направляющим которой перемещается суппорт *3* с револьверной головкой *4*. На колонке смонтированы коробка скоростей и редуктор подач. Салазки *2* крестового стола перемещаются по горизонтальным направляющим основания, а верхняя часть стола *9* — по направляющим салазок. С правой стороны станка расположены шкаф с электрооборудованием *7* и устройство ЧПУ *8*. Станок имеет подвесной пульт управления *6*.

Кинематическая схема станка (рис. 6.9) состоит из следующих независимых кинематических цепей: привода главного движения (вращения шпинделей револьверной головки), привода подач крестового стола, привода салазок, привода суппорта с револьверной головкой, приводов поворота револьверной головки и выпрессовки инструмента из шпинделей.

Цепь главного движения: двухскоростной электродвигатель *M1* ($P = 4/4{,}5$ кВт; $n = 1470/990$ мин$^{-1}$) — зубчатая передача 29/41 — вал *I* — вал *II* (через передачи 24/48 и 36/36 при включенных муфтах M_1 и M_2 или через передачу 14/56 при включенной муфте M_3) — вал *III* — (через передачу 14/56 и 48/24 при включенных муфтах M_4 и M_5) — вал *V* через коническую зубчатую передачу 21/21 — на один из шпинделей револьверной головки через передачу 35/35.

Цепь привода подач крестового стола имеет два редуктора, один из которых осуществляет движение стола по салазкам (ось *X*) (см. рис. 6.8), а второй — движение салазок по станине (ось *Y*). Кинематическая цепь привода салазок обеспечивает их быстрое, среднее и медленное перемещения. Быстрое перемещение (со скоростью 7000 мм/мин) осуществляется по цепи: электродвигатель *M4* ($P = 0{,}6$ кВт, $n = 1380$ мин$^{-1}$) — передачи 16/40, 34/22, 22/52, 52/34 — шариковый винт (ось *XXV*). Перемещение со средней скоростью 200 мм/мин: *M4* — передачи 16/64, 25/55, 25/55, 38/42, 22/52, 52/34 — шариковый винт. Медленное перемещение (со скоростью 50 мм/мин): *M4* — передачи 16/64, 25/55, 25/55, 16/64, 22/52, 52/34 — шариковый винт. На шариковом ходовом винте смонтирован датчик *Д* обратной связи. Перемещение стола по салазкам происходит от электродвигателя *M5* ($P = 0{,}6$ кВт, $n = 1380$ мин$^{-1}$), кинематическая цепь привода аналогична описанной выше.

Цепь привода суппорта с револьверной головкой: электродвигатель *M2* (постоянного тока, $P = 1{,}3$ кВт, $n = 50\ldots2600$ мин$^{-1}$) — передача 13/86 (или передача 37/37 — червячная передача 4/25 — ходовой винт, оснащенный тормозной муфтой, предотвращающей произвольное опускание суппорта при отключении электродвигателя, и датчиком обратной связи *Д3*.

Цепь привода поворота револьверной головки: электродвигатель *M3* ($P = 0{,}7/0{,}9$ кВт, $n = 1400/2700$ мин$^{-1}$) — передача 23/57 — червячная передача 1/28 — передача 16/58 — корпус револьверной головки.

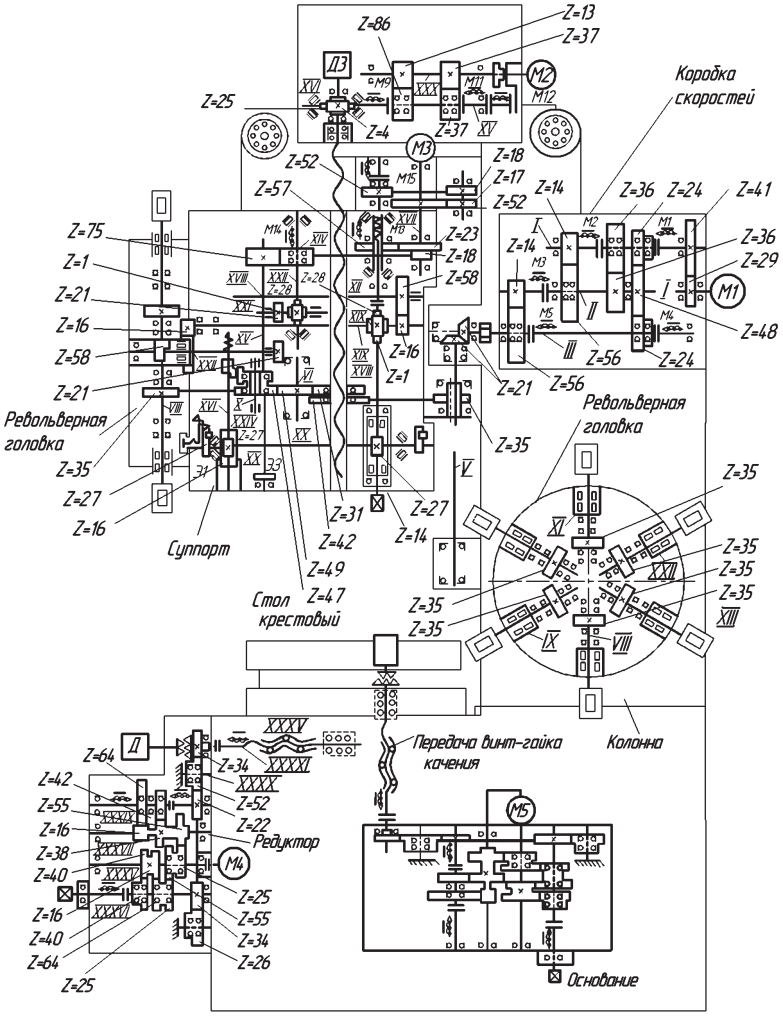


Рис. 6.9. Кинематическая схема станка мод. 2Р135Ф2-1

Выпрессовка инструмента из шпинделей: *М3* — передача 18/52 (при включенной муфте M_{15} — червячная передача 1/28 — передача 21/21 — эксцентрик, смонтированный в пазу оси поворота револьверной головки.

Специальные сверлильные станки. Значительная часть вертикально-сверлильных станков выпускается для обработки конкретных заготовок в условиях массового и крупносерийного производства. Обычно эти станки оснащаются многошпиндельными головками с общей для всех шпинделей минутной подачей за счет перемещения сверлильной головки в осевом направлении. Каждый шпиндель может вращаться с необходимой скоростью в зависимости от выполняемой операции.

Специальные станки изготавливают на основе базовых моделей, унифицированных с серийно выпускаемыми вертикально-сверлильными станками. Для

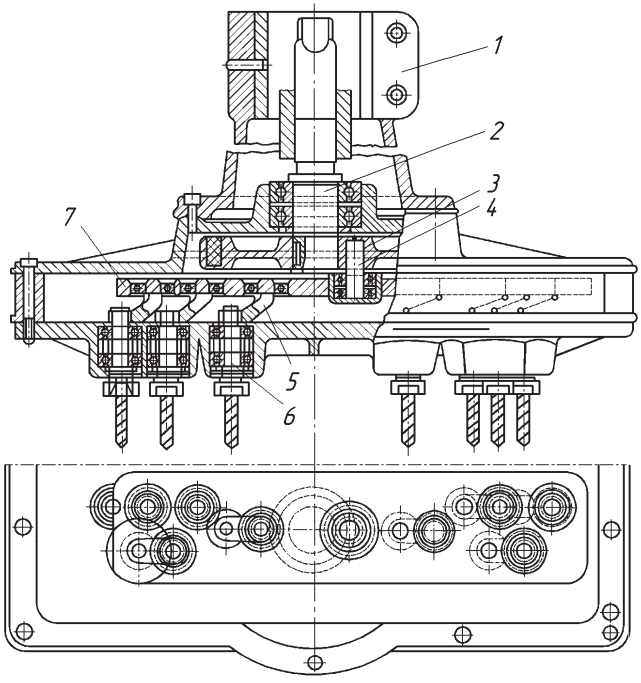


Рис. 6.10. Восьмишпиндельная сверлильная головка:
1 — хомут для крепления головки; *2* — ведущий шпиндель; *3* — маховик; *4* — ведущий кривошипный палец; *5* — кривошип; *6* — рабочий шпиндель; *7* — водило

осуществления заданного технологического процесса используют специальные наладки. К их числу относят многопозиционные поворотные столы, многошпиндельные головки со стационарным либо с регулируемым положением шпинделей и ряд других.

Шпиндельные головки со стационарным расположением шпинделей имеют кривошипный либо шестеренный привод на каждый шпиндель. Конструкция восьмишпиндельной сверлильной головки с кривошипным приводом показана на рис. 6.10. При работе головок с кривошипным приводом наблюдается повышенный износ подшипников, возникают вибрации, возможно даже заклинивание отдельных кривошипов, если врезание и выход инструмента происходят не одновременно. По этим причинам они используются только в тех случаях, когда необходимо иметь малое расстояние между осями обрабатываемых отверстий. Головки с шестеренным приводом позволяют обеспечить более высокую точность и одновременное выполнение различных операций обработки отверстий.

6.2. Радиально-сверлильные станки

Предназначены для обработки различных отверстий и поверхностей концевым инструментом (сверла, зенкеры, развертки, метчики) в крупных корпусных деталях в условиях как единичного, так и крупносерийного производства. В отличие от вертикально-сверлильных, в радиально-сверлильных станках со-

вмещение оси заготовки с осью шпинделя достигается перемещением шпинделя относительно неподвижной заготовки. Компоновка станка (рис. 6.11) позволяет установить шпиндель с инструментом в любой точке рабочей зоны станка за счет перемещения шпиндельной сверлильной головки *3* по направляющим траверсы (рукава) *2* и поворота траверсы вокруг колонны *1*.

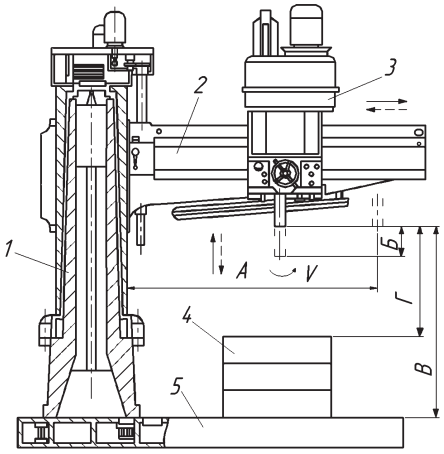


Рис. 6.11. Компоновка радиально-сверлильного станка

Основным размером радиально-сверлильных станков является наибольший диаметр сверления в стали средней твердости, а наиболее важными параметрами — номер конуса шпинделя, вылет шпинделя от направляющих колонны (размер *А*), наименьшее и наибольшее расстояния от торца шпинделя до стола *4* (размер *Г*) и до фундаментной плиты *5* (размер *В*), величина осевого хода шпинделя (размер *Б*). Главным движением в радиально-сверлильных станках является вращение шпинделя, а движением подачи — осевое перемещение шпинделя вместе с пинолью (гильзой). К вспомогательным движениям относятся: поворот траверсы и закрепление ее на колонне, вертикальное перемещение и закрепление траверсы на нужной высоте, перемещение и закрепление шпиндельной головки на траверсе и др.

Радиально-сверлильные станки выполняют стационарными (при установке фундаментной плиты станка на пол цеха); переносными (при установке основания станка на крупногабаритную обрабатываемую корпусную деталь), самоходными, которые монтируют на тележках, перемещающихся по рельсам и др. (рис. 6.12). Технические характеристики радиально-сверлильного станка мод. 2554 приведены ниже.

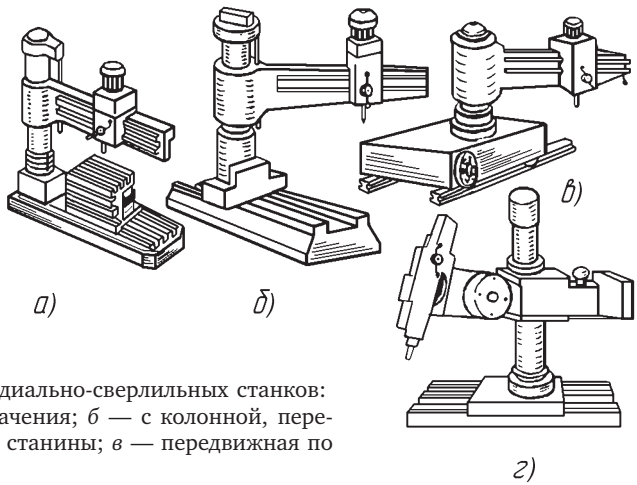


Рис. 6.12. Типы компоновок радиально-сверлильных станков: *а* — стационарная общего назначения; *б* — с колонной, перемещающейся по направляющим станины; *в* — передвижная по рельсам; *г* — переносная

Условный диаметр сверления, мм, не более 50
Вылет шпинделя от направляющих колонны, мм . . . . . 350...1600
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$ . . . . . 18...2000
Число ступеней 25
Подача, мм/об . . . . . 0,05...5
Число подач 21

Заготовку закрепляют на фундаментной плите. Все движения совершает шпиндель сверлильной головки. Он вращается (главное движение), перемещается вдоль оси (движение подачи), передвигается при переходе от отверстия к отверстию вместе с головкой по рукаву и вместе с последним вокруг колонны. Рукав можно также перемещать вертикально по направляющим колонны. В верхней части сверлильной головки расположены коробки скоростей и подач, а также гидравлические механизмы переключения.

Кинематическая схема станка показана на рис. 6.13. Цепь главного движения соединяет асинхронный электродвигатель *М1* со шпинделем *VI*. Фрикционная муфта M_1 реверсирует шпиндель, соединяя с валом *I* колеса *38—33* или *34* (последнее передает движение на вал *II* через паразитное колесо *22*). Муфтой управляет гидропривод, обеспечивающий три положения. В среднем (нейтральном) положении муфта выключена, движение на вал *II* не передается, включен сблокированный с муфтой тормоз *Т*. Коробка скоростей содержит, кроме того, четыре двойных блока и сопряженные с ними колеса.

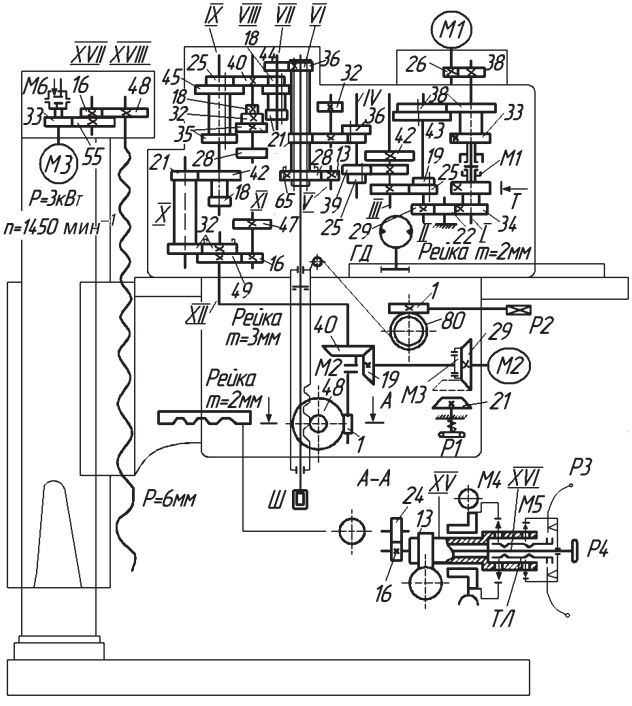


Рис. 6.13. Кинематическая схема станка мод. 2554

Шпиндель *VI* своим шлицевым хвостовиком получает вращение от втулки, по которой может перемещаться колесо *28*. Это колесо передает вращение от колеса *50* на валу *V* или от зубчатого венца *28* с внутренним зубом, соединенного с колесом *65* и работающего как зубчатая полумуфта. Таким образом, теоретически может быть получено 32 частоты вращения шпинделя по часовой стрелке и 16 — против часовой стрелки, однако часть частот вращения на разных передачах совпадает, поэтому количество скоростей уменьшается до 25.

Привод подач обеспечивает осевое перемещение гильзы со шпинделем. Коробка подач включает валы *VII*—*XI* и получает вращение от шпиндельной шлицевой втулки через передачу 36/44. Затем следуют две тройные группы передач, причем колесо *40* на валу *VIII* принадлежит обеим группам. На валу *XII* закреплены три зубчатых венца: 49—32—18 (колесо *18* — с внутренним зубом). Движение на вал *XII* может быть передано с вала *IX* напрямую при сцеплении наружного и внутреннего венцов *18* (образуют зубчатую муфту), либо через вал *X* (передачи 42/21 и 32/32), либо через вал *XI* (передачи 18/47 и 16/49). Теоретически может быть получено 27 подач, однако часть из них на различных передачах совпадает.

С вала *XII* на вал *XV* движение поступает через предохранительную и управляющую муфту M_2. Она срабатывает при перегрузке, а также при достижении заданной глубины сверления. За ней следуют червячная передача 1/48 и реечная передача с колесом *13* (*А*—*А*). Зубья рейки с $m = 3$ мм нарезаны на гильзе, несущей опоры шпинделя. Осевая нагрузка, действующая на шпиндель при обработке, замыкается через его опоры и привод подач на корпус сверлильной головки.

Гильза со шпинделем уравновешены спиральными пружинами, которые регулируют рукояткой *Р2* через передачу 1/80. Быстрое осевое перемещение невращающегося шпинделя возможно от электродвигателя *М2*, передающего движение через зубчатую муфту M_3. Тонкую ручную подачу осуществляют маховичком *Р1*, который перемещают, сжимая пружину и зацепляя конические колеса *21* и *29*.

Рукоятки штурвала *Р3* служат для ручного перемещения или грубой подачи шпинделя, а также для включения цепи механической подачи. Нажимая на рукоятки «от себя» (на схеме — влево), сдвигают толкатель *ТЛ* вправо. При этом муфта M_4 включается, червячное колесо *48* соединяется с реечным колесом *13*, становится возможной механическая подача. При повороте рукояток «на себя» муфта M_4 выключается, а муфта M_5 включается; появляется возможность поворачивать штурвал с реечным колесом при неподвижном червячном колесе, т.е. производить грубую ручную подачу. Сверлильную головку перемещают по рукаву вручную с помощью маховичка *Р4* и колес *16*, *24* по нижней рейке с $m = 2$ мм или от гидромотора *ГД* колесом *16* по верхней рейке.

Привод вертикального перемещения рукава включает в себя электродвигатель *М3*, зубчатые передачи 33/55 и 16/48, передачу винт—гайка с шагом $P = 6$ мм. Крутящий момент передается от двигателя на первое колесо *33* через шариковую предохранительную муфту M_6.

Зажим сверлильной головки на рукаве, рукава на колонне и самой колонны (от поворота) для обеспечения высокой точности позиционирования инструмента в точке обработки осуществляют гидроцилиндры. Для зажима колонны

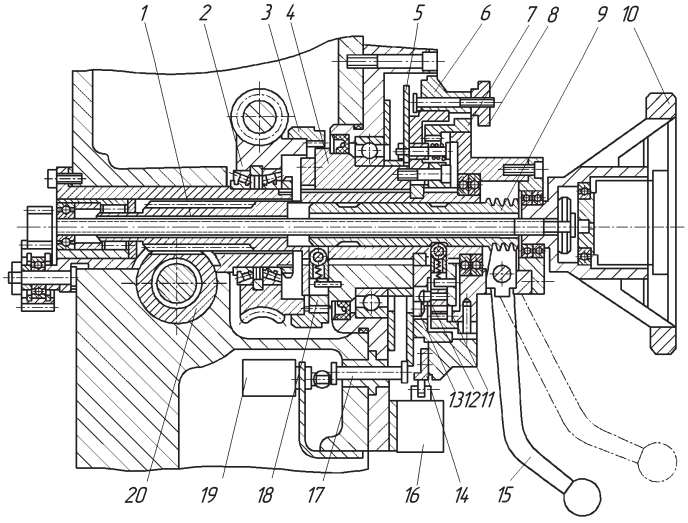


Рис. 6.14. Конструкция штурвального устройства

используются плунжер-рейка и передача винт—гайка; в остальных случаях поршни действуют через рычажные системы.

Конструкция штурвального устройства механизма подач показана на рис. 6.14. Механическую подачу включают поворотом рычагов *15* штурвала от себя. При этом ползушка *18* выталкивается из паза толкателя *9* и вводится профильным концом во впадину колеса *3* с внутренним зубом, червячное колесо *2* привода соединяется с корпусом *4* ползушек. Корпус *4* через шлицы передает вращение полому валу *1* реечного колеса, которое перемещает гильзу *20* со шпинделем. При повороте рычагов *15* на себя ползушка *18* выходит из зацепления, а ползушка *11* выталкивается и вводится в зацепление с зубчатым венцом *7*. Теперь с корпусом *4* связана ступица штурвала. При перемещении ползушки *11* взаимодействуют упоры *12* и *13,* подпружиненный диск *5* отжимается влево и стержнем *17* нажимает микропереключатель *19* — включается механическая подача. Для выключения механической подачи при достижении заданной глубины настраивают положение кулачка *14* относительно микропереключателя *16*; при этом пользуются шкалой лимба *6*, который крепится гайкой *8.* Маховичком *10* перемещают сверлильную головку по рукаву.

Колонна (рис. 6.15) состоит из двух частей: неподвижной внутренней колонны *1*, закрепленной на фундаментной плите, и поворотной наружной колонны *2*. Наружная колонна закрепляется в нужном положении хомутом *6*, охватывающим конусные поверхности фланцев обеих колонн. Зажим и разжим хомута производятся болтами *5*, надетыми на валик *4* с эксцентриковыми шайбами; поворот валика (механически или с помощью специального гидроустройства) вызывает перемещение болтов *5* в нужном направлении. При освобожденной наружной колонне, под действием тарельчатых пружин *3* происходит разгрузка стыка *Б* от силы тяжести поворачиваемых узлов, что значительно облегчает поворот колонны.

Коробка подач получает вращение от вала *VI* (см. рис. 6.13) и связана со шпинделем жесткой кинематической цепью, конечным звеном которой является реечная передача, осуществляющая осевое перемещение шпинделя, конструкция которого показана на рис. 6.16. Осевая сила резания, действующая на шпиндель при обработке, замыкается через опоры шпиндельного узла, реечную пару и кинематическую цепь привода подач на корпус коробки подач, который крепится к передней плоскости корпуса шпиндельной головки.

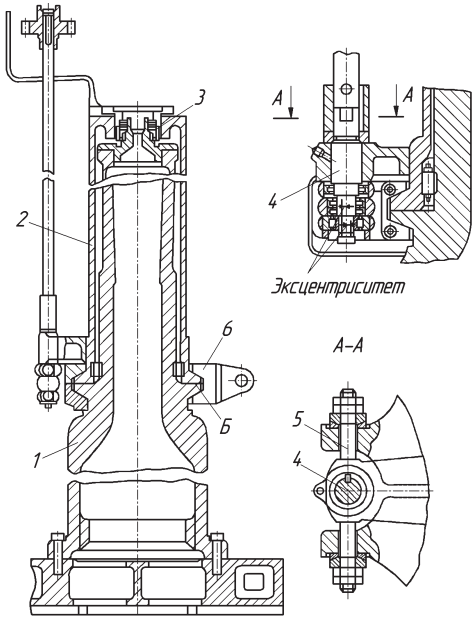


Рис. 6.15. Схема колонны

Для закрепления заготовок и обеспечения правильного положения инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия при обработке пользуются специальными приспособлениями — кондукторами, имеющими кондукторную плиту со сменными (под диаметр инструмента) кондукторными втулками. Кондукторы могут выполняться накладными, когда кондукторная плита накладывается на заготовку и свободно лежит на ней или закрепляется, а также скользящими, опрокидываемыми или поворотными. Для закрепления сверл, разверток, зенкеров и другого режущего инструмента в шпинделе сверлильного станка применяют следующие вспомогательные инструменты:

• переходные конические втулки с конусом Морзе семи номеров от 0 до 6 по ГОСТ 8522—79. Они используются для закрепления режущего инструмента с коническим хвостовиком, когда номер конуса хвостовика инструмента не соответствует номеру конуса в шпинделе станка;

• сверлильные патроны используют для закрепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 20 мм. На рис. 6.17 изображен трехкулачковый сверлильный патрон, в котором инструмент закрепляют ключом. Внутри корпуса патрона расположены наклонно три кулачка *1*, имеющие резьбу, связывающую их с гайкой *2*. Обойма *3* вращается специальным ключом *4*, вставленным в отверстие корпуса

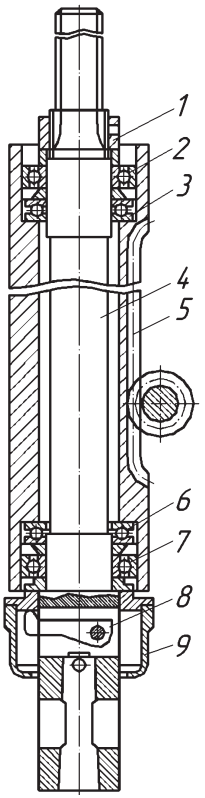


Рис. 6.16. Шпиндельный узел сверлильного станка:
1 — гайка; *2, 7* — радиальные шарикоподшипники; *3, 6* — упорные шарикоподшипники; *4* — шпиндель; *5* — гильза; *8* — рычаг для выталкивания инструмента из шпинделя; *9* — упорный стакан для поворота рычага

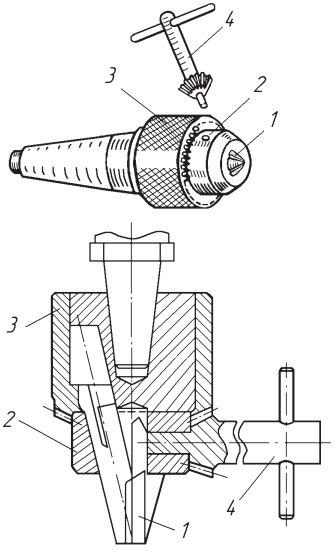


Рис. 6.17. Трехкулачковый сверлильный патрон

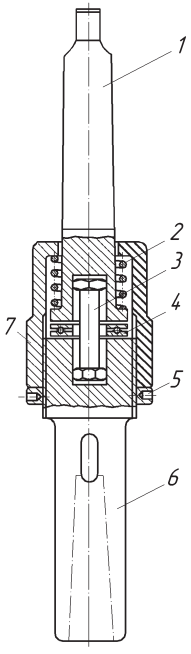


Рис. 6.18. Самоустанавливающийся сверлильный патрон

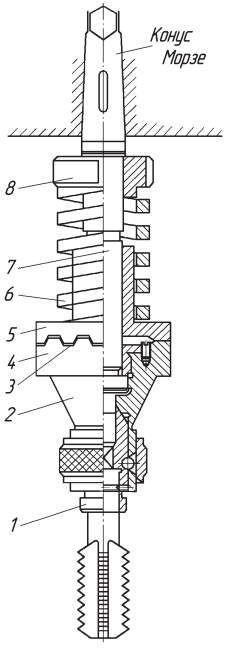


Рис. 6.19. Предохранительный патрон

патрона. При вращении обоймы по часовой стрелке вращается также гайка. Зажимные кулачки, опускаясь вниз, постепенно сходятся и зажимают цилиндрический хвостовик инструмента. При вращении обоймы в обратном направлении кулачки, поднимаясь вверх, расходятся и освобождают зажатый инструмент.

Для зажима сверл малого диаметра с цилиндрическими хвостовиками часто пользуются цанговыми патронами. Самоустанавливающиеся сверлильные патроны (рис. 6.18) применяют в тех случаях, когда требуется обрабатывать предварительно просверленные отверстия. Патроны позволяют центрировать режущий инструмент по оси обрабатываемого отверстия.

Корпус патрона *1*, имеющий конический хвостовик для крепления в шпинделе станка, передает вращательное движение оправке *6* через поводок *3*, помещенный в глухих шестигранных отверстиях. Между торцовыми поверхностями корпуса патрона и оправки установлен упорный подшипник *4*. Оправка и корпус патрона соединены между собой муфтой *7*, навернутой на резьбовую часть оправки. Стопорное кольцо *5* предохраняет муфту от провертывания на оправке патрона. Внутри оправки расположена пружина *2*, которая, упираясь одним концом в нижний поясок корпуса патрона, а другим в дно муфты, прижимает оправку к нижней торцовой части корпуса патрона. Такое устройство позволяет оправке патрона в процессе работы самоустанавливаться в предварительно обработанном отверстии относительно оси вращения корпуса патрона за счет зазора между кольцами упорного подшипника и торцами деталей *1* и *6*, который выбирается при работе, обеспечивая самоустановку.

Предохранительные патроны (рис. 6.19) служат для крепления метчиков при нарезании резьбы. Их применение улучшает качество нарезаемой резьбы и предохраняет метчик от поломок. Ведущая кулачковая полумуфта *5* пружиной *6* прижимается к ведомой полумуфте *4*, свободно сидящей на оправке *7*. При этом полумуфта *4* вместе с корпусом *2* за счет соединения выступов *3* с аналогичными выступами полумуфты *5* приводится во вращение. По окончании нарезания резьбы полумуфта *4* вместе с метчиком прекращает вращение за счет резко возросшего момента сопротивления, появляющегося на метчике, поскольку происходит утыкание метчика в дно просверленного отверстия, и его осевое перемещение и вращение прекращаются. При этом ведущая приводом подачи станка полумуфта *5*, продолжая вращаться под действием осевой силы сопротивления со стороны полумуфты *4*, преодолевая силу пружины, выходит из зацепления с выступами полумуфты *4* и начинает проскальзывать (щелкать). Из нарезанного отверстия метчик вывертывают обратным вращением шпинделя станка. Кольцо *1* служит для закрепления метчика в патроне, а гайка *8* — для регулирования величины передаваемого момента за счет сжатия или разжатия пружины *6*.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Расточные станки

Расточные станки предназначены для обработки корпусных деталей. На них можно производить растачивание, сверление, фрезерование, зенкерование, нарезание резьб и т.п.

Расточные станки подразделяют на следующие:

а) горизонтально-расточные станки;

б) координатно-расточные станки;

в) алмазно-расточные (отделочно-расточные) станки.

7.1. Горизонтально-расточные станки

Отличительной особенностью станков является наличие горизонтального шпинделя, совершающего движение осевой подачи. Диаметр выдвижного шпинделя, определяющий основной размер станка, $D = 80...320$ мм. Станки являются широкоуниверсальными и позволяют проводить различные виды работ: растачивание, фрезерование (в том числе отверстий), сверление, подрезание торцов, нарезание резьб метчиком и резцом, зенкерование и т. п. (рис. 7.1). Точность формы расточенных отверстий зависит от их размеров и колеблется в пределах 2…15 мкм. Отклонение округлости отверстий, полученных фрезерованием с использованием системы ЧПУ, составляет около 30 мкм. При использовании дополнительных сменных узлов (фрезерных головок, планшайб и др.) можно проводить фрезерование взаимно-перпендикулярных плоскостей (рис. 7.1, *г*, схема *II*), растачивать канавки при перемещении ползушки планшайбы, устанавливаемой на шпинделе, обрабатывать наружные цилиндрические поверхности (рис. 7.1, *г*, схема *III*) и т.п.

Современные станки имеют индивидуальные приводы подач от регулируемых двигателей для каждой оси. Величина рабочих подач достигает 12 000 мм/мин, а ускоренных — 15 000 мм/мин, контурное управление с числом осей от 3 до 8. Точность позиционирования узлов составляет около 15…30 мкм на длине 1 м. Зона нечувствительности — около 5 мкм, а повторяемость — около 10 мкм. Дальнейшее повышение точности часто ограничивается температурными явлениями. Точность позиционирования поворотного стола 5″. Технические характеристики станков (в соответствии с ГОСТ 7058—84) приведены в табл. 7.1.

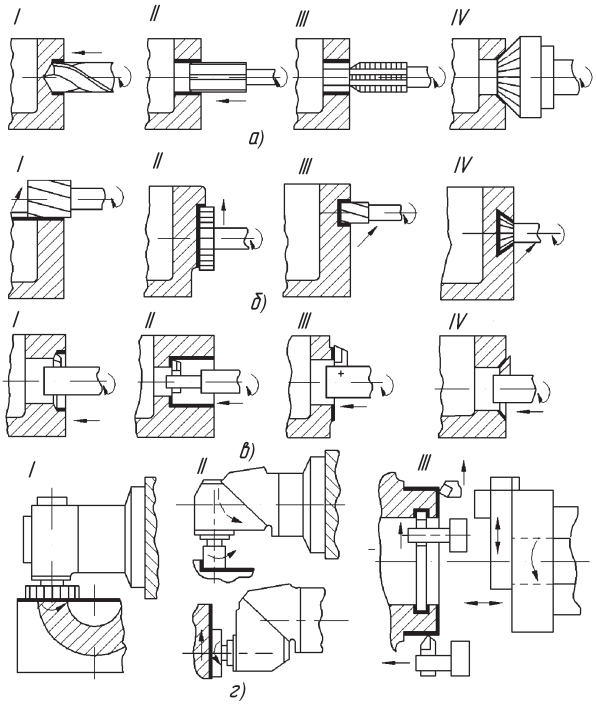


Рис. 7.1. Схемы обработки различных поверхностей на горизонтально-расточном станке: *а* — сверление (схема *I*), развертывание (схема *II*), нарезание резьбы метчиком (схема *III*), зенкерование (схема *IV*); *б* — фрезерование (схема *I*) цилиндрической, торцовой (схема *II*), концевой (схема *III*), угловой (схема *IV*) фрезами; *в* — растачивание: сквозных отверстий (схема *I*), с подрезкой торца (схема *II*), подрезка торца (схема *III*), получение конической поверхности (схема *IV*); *г* — обработка различных поверхностей с использованием дополнительных приспособлений: горизонтальных плоскостей с помощью угловой фрезерной головки (схема *I*), взаимно-перпендикулярных плоскостей с помощью поворотной (на 90°) фрезерной головки (схема *II*), наружной поверхности, торца и кольцевой канавки с помощью планшайбы с радиально перемещаемой ползушкой (схема *III*)

7.1. Технические характеристики горизонтально-расточных станков

Параметр	Размеры, мм			
Диаметр выдвижного шпинделя	80; 90	110	125; 160	200
Ширина рабочей поверхности стола	1000	1250	1600; 2000	2500
Длина рабочей поверхности стола	1120	1400	1800; 2240	2800
Конус 7:24 шпинделя	40,50	50,55	60	60
Продольное перемещение шпинделя, не более	630	710	1000	1250
Вертикальное перемещение шпиндельной бабки	1000 (710)	1250 (1000)	1600 (1400)	2500

Преимущества станков: 1) удобные установка, закрепление и обзор заготовки; 2) возможность обработки заготовок с четырех сторон без переустановки;

3) упрощена автоматизированная смена инструмента и стола-спутника с деталью и заготовкой.

Недостатком станков является ограничение режимов обработки в зависимости от вылета шпинделя (особенно при вылете, превышающем 4...5 диаметров шпинделя). При малом вылете эффективно используется мощность главного привода, достигающая $P \approx 0{,}3D$, где P в кВт, а D в мм.

Компоновка.

Основное различие станков заключается в способе перемещения инструмента вдоль оси Z. На рис. 7.2, *а*, *д* показаны схемы станков, у которых перемещение инструмента вдоль оси происходит за счет перемещения главного шпинделя *1*. Дополнительное осевое перемещение W осуществляется стойкой *3* (рис. 7.2, *а*) или столом *2* (рис. 7.2, *б* и *в*). Компоновки позволяют обрабатывать заготовки при постоянном вылете шпинделя. Станок с крестообразным столом (рис. 7.2, *в*) характеризуется повышенной деформацией салазок *2* при перемещении стола *3* в крайнее положение (по оси X). Имеются известные трудности при встройке станка в ГПС, поскольку стол имеет два движения, что усложняет управление механизмом смены спутников. Этих недостатков лишены компоновки (рис. 7.2, *а* и *б)*, в которых исполнительные движения распределены между столом *2* и стойкой *3*. На рис. 7.2, *г* показана компоновка, в которой предусмотрено дополнительное осевое перемещение W инструмента вместе со стойкой *2* на салазках *3*, применяется при диаметре шпинделя 1…320 мм. Недостаток — небольшой ход стойки вдоль оси шпинделя (600…800 мм). Кроме того, крестовый ход стойки усложняет конструкцию станка. Обрабатываемая заготовка может устанавливаться как на неподвижной плите *4*, так и на поворотном столе *5*. На рис. 7.2, *д* приведена компоновка с использованием выдвижного на ход до 2000 мм ползуна *2*, в котором дополнительно может перемещаться шпиндель *1* на такую же величину. Станки позволяют обрабатывать детали при вылете до 4000 мм — такая компоновка обеспечивает обработку во всем рабочем пространстве особо крупных заготовок.

Станки различаются также по расположению шпиндельной бабки: сбоку стойки (все крупные станки) или по центру портальной стойки (с диаметром шпинделя до 160 мм). Станки оснащаются механизмами автоматической смены инструмента, навесных узлов и деталей. Количество инструментов в магазине достигает 200 шт., а магазин чаще всего располагают на стойке станка либо рядом со станком. В отдельных случаях предусматривают автоматическую замену магазина. Съемные столы-спутники размером до 3000×4000 мм наиболее часто применяют в компоновках на рис. 7.2, *а* и *б*. Число спутников обычно не превышает двух.

Кинематическая схема станка D 125 мм с цифровой индикацией мод. 2П636ГФ1 приведена на рис. 7.3. Привод главного движения (вращения шпинделя *VI*) осуществляется от асинхронного электродвигателя *M1*. Коробка скоростей обеспечивает 21 частоту вращения выдвижного шпинделя и 12 частот вращения планшайбы. При работе шпинделем вращение снимается с вала V и передач *31—78* или *54—54* при отключенной зубчатой муфте M_1. При работе планшайбой вращение передается с вала V и передачу *21—84* при включении муфты M_1 и нейтральном положении колеса $Z = 49$ на V валу (шпиндель отсоединяется

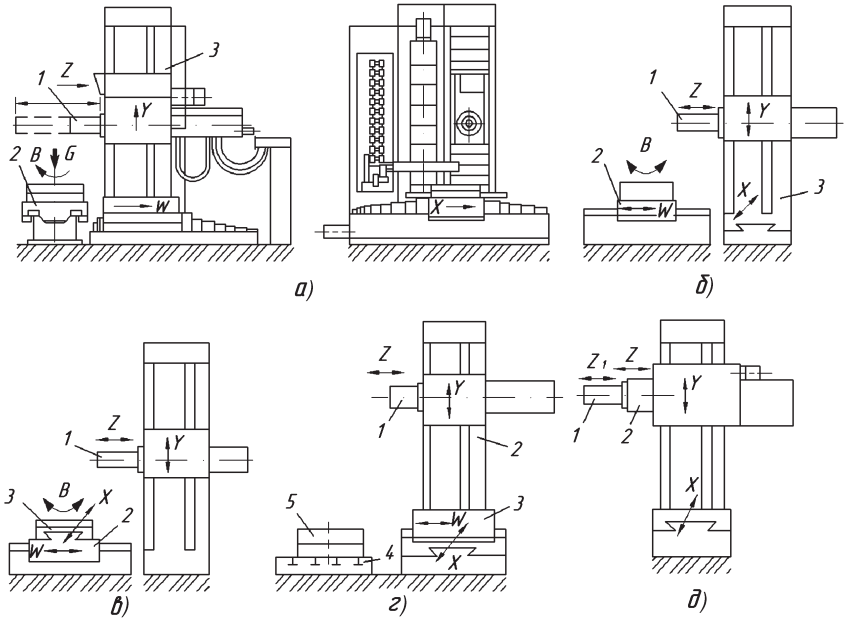


Рис. 7.2. Компоновки горизонтально-расточных станков

от коробки скоростей). Осевое перемещение шпинделя (ось *VI*) осуществляется при передаче вращения от регулируемого электродвигателя *M2* через редуктор на винт с шагом $P = 16$ мм при включенной вправо зубчатой муфте M_2, которая соединяет вал *XIV* с колесом $Z = 36$ и далее передает вращение на винт. Контроль осевого движения шпинделя осуществляется по лимбу. От аналогичных приводов производятся вертикальное перемещение шпиндельной бабки (от двигателя *M3*), а также горизонтальные перемещения стола и его поворот (от двигателя *M5*) при соответствующем включении электромагнитных муфт. В качестве тяговых устройств при перемещениях стола используются круговые рейки с шагом $P = 20$ мм. Перемещение задней стойки (работа с борштангой) осуществляется двигателем *M4*, а перемещение пульта управления — двигателем *M6*. Нарезание резьб можно производить, связав вращение выдвижного шпинделя с его осевым перемещением. Для этого служит гитара $(a/b) \cdot (c/d)$ (устанавливается на торце хвостовой части), передаточное отношение которой выбирается в зависимости от требуемого шага резьбы. Колесо «*a*» гитары в этом случае связано со шпинделем колесами *68—34* (показано пунктиром). Планшайба, установленная на полом шпинделе, осуществляет движение радиальной подачи ползушки с закрепленном на ней резцом. От двигателя *M2* вращение передается на вал *XV* (при включенной влево зубчатой муфте M_2) и далее через дифференциал на конические колеса *25—25* и передачу червяк-рейка с шагом $P = 16$ мм. В левом положении муфты M_2 (при работе планшайбой) осевая подача шпинделя отключается, так как колесо $Z = 36$ отсоединяется от колеса $Z = 24$ вала *XIV*.

Дифференциал служит для того, чтобы при выключенном двигателе *M2* (т.е. радиальная подача не производится) и вращающейся планшайбе ползушка с резцом оставались бы неподвижными. Для этого колесо $Z = 119$, приводимое во

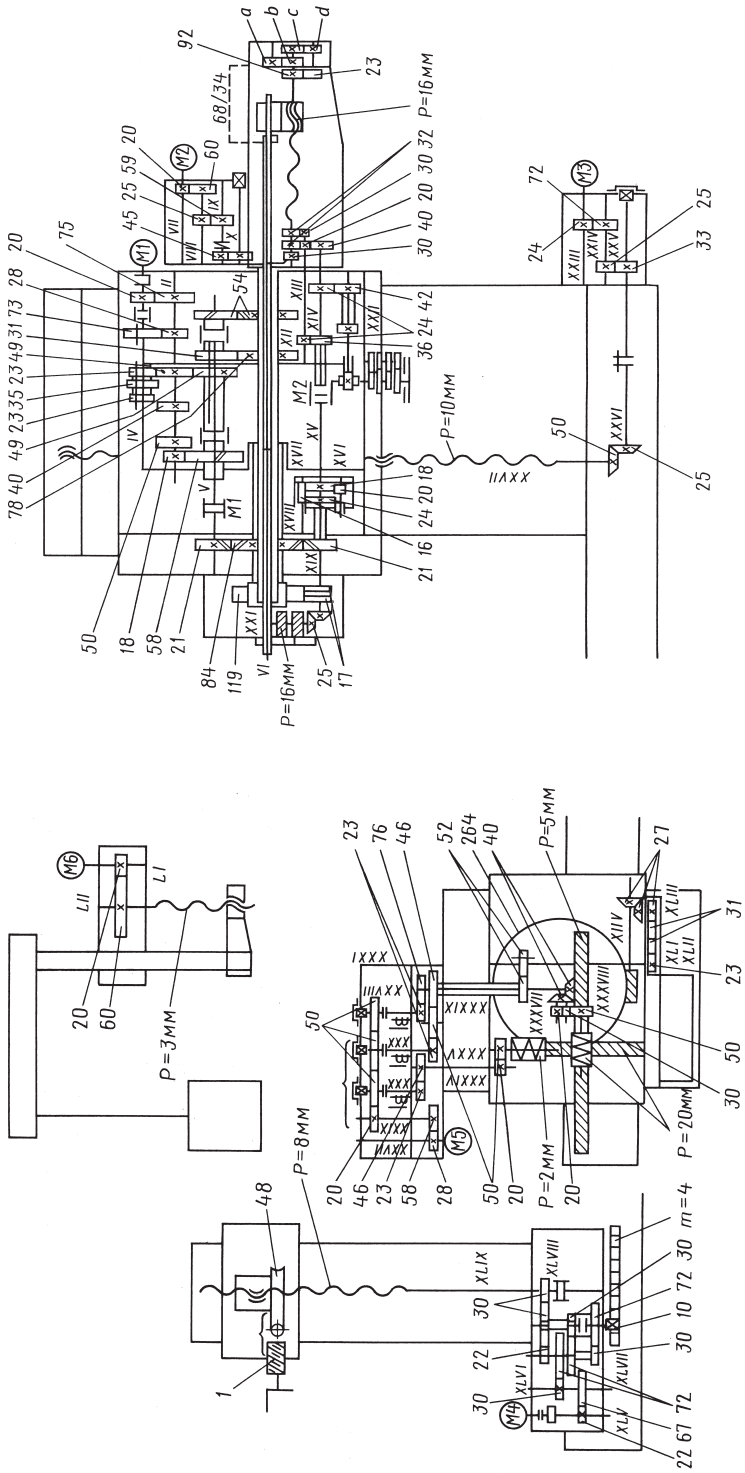


Рис. 7.3. Кинематическая схема станка мод. 2П636ГФ1

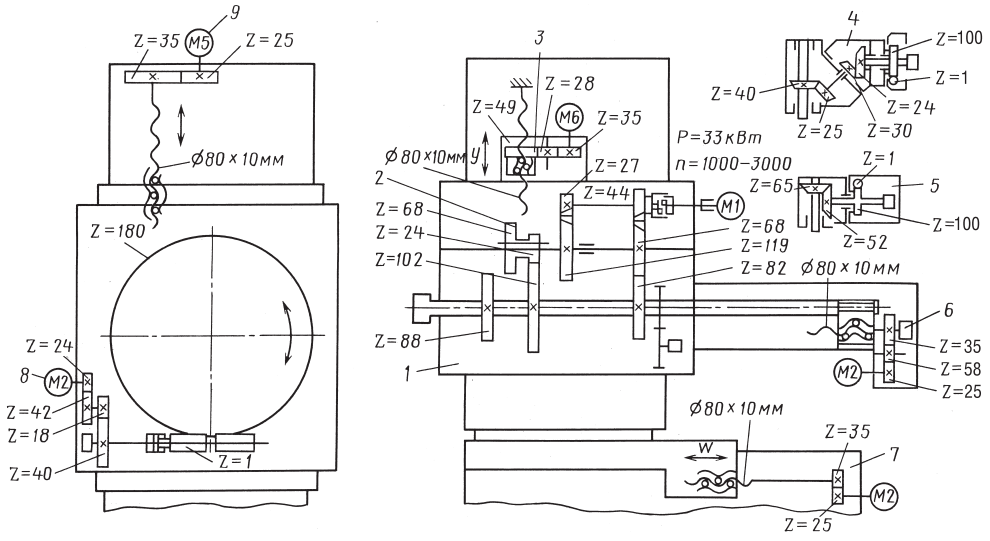


Рис. 7.4. Кинематическая схема станка диаметром 160 мод. 2П637МФ4:
1 — шпиндельная бабка; *2* — блок зубчатых колес; *3* — привод подачи шпиндельной бабки с вращающейся гайкой; *4* — универсальная (поворотная) фрезерная головка; *5* — угловая фрезерная головка; *6* — привод осевой подачи шпинделя; *7* — привод продольной подачи стойки; *8* — привод круговой подачи поворотного стола; *9* — привод поперечной подачи салазок

вращение через передачи *84—21* и *17—119*, должно вращаться с частотой планшайбы. Передаточное отношение дифференциала выбирается таким образом, чтобы при вращении шпинделем (через передачу *84—21*) водила дифференциала, его зубчатые колеса, обкатываясь относительно неподвижного вала *XV*, вращали бы вал *XIX* и далее колесо $Z = 119$ с частотой вращения планшайбы (назначение передаточного отношения см. т. 1, гл. 3).

Станки с ЧПУ имеют существенно более простую кинематическую схему. На рис. 7.4 приведена кинематическая схема станка ∅160(125) с ЧПУ мод. 2П637МФ4. Главный привод осуществляется от регулируемого электродвигателя *М1* и трехступенчатую коробку скоростей. При включении муфты блок *2* устанавливается в среднем (нейтральном) положении. Координатные перемещения узлов производятся регулируемыми электродвигателями *М2*. Для получения высокой точности, виброустойчивости и долговечности все направляющие и шпиндель выполнены на гидростатических опорах.

Конструкция наиболее характерных узлов. Решающее влияние на точность, виброустойчивость и другие эксплуатационные характеристики оказывает конструкция шпиндельной бабки станков, и в первую очередь ее опор.

На рис. 7.5 приведены шпиндельные узлы компоновок по рис. 7.2, *а—в*. Двухрядные роликоподшипники *1* с цилиндрическими роликами в сочетании с коническими подшипниками *2* обеспечивают достаточно высокую быстроходность и жесткость полого шпинделя *3* (рис. 7.5, *а*). Вытеканию масла из шпоночных пазов *4* и *6* выдвижного шпинделя *5* препятствуют подпружиненные уплотнения *7*. Применение гидростатических опор обеспечивает, при наличии холодильно-

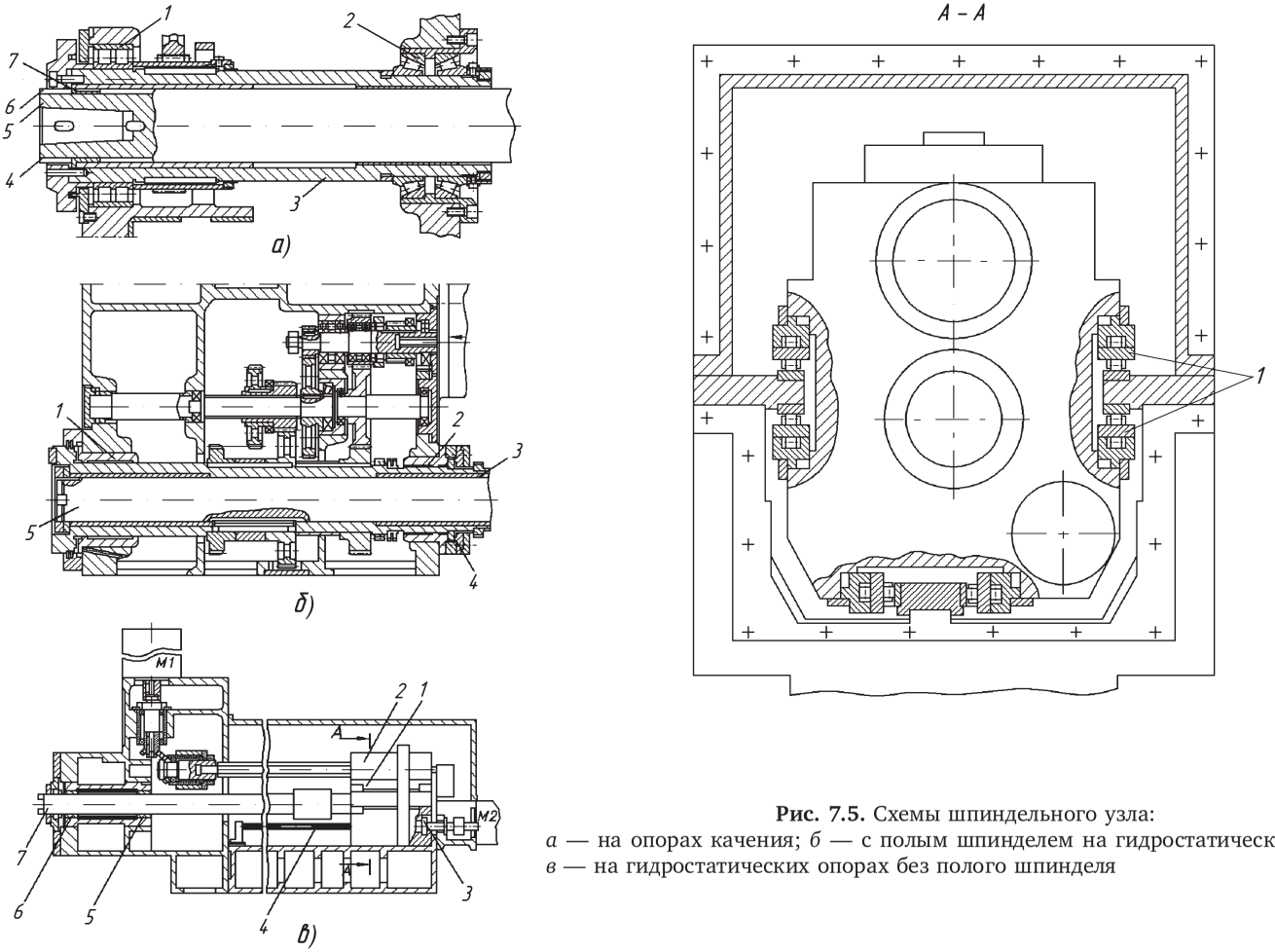


Рис. 7.5. Схемы шпиндельного узла:
а — на опорах качения; *б* — с полым шпинделем на гидростатических опорах; *в* — на гидростатических опорах без полого шпинделя

го агрегата, хорошую температурную стабильность шпиндельного узла, так как тепло удаляется из опоры вместе с маслом. Наибольшее влияние гидростатические опоры шпинделя оказывают на динамические характеристики и точность. Виброустойчивость при растачивании на черновых и чистовых операциях повышается более чем в 2 раза и 1,3 раза соответственно (по сравнению с виброустойчивостью шпинделя на опорах качения). Погрешность траектории вращения шпинделя не превышает 1...2 мкм и сохраняется не менее 10 лет.

В схеме 7.5, *б* опоры *1*, *2* и *4* полого шпинделя *3* выполнены гидростатическими, причем осевые подшипники *4* установлены в задней опоре, что облегчает монтаж шпинделя. Осевые опоры выдвижного шпинделя *5* установлены в каретке (на схеме не показана), связанной с приводом осевой подачи. Гидростатические опоры позволили создать конструкцию горизонтально-расточного станка, в котором полый шпиндель исключен. В этом случае как вращение, так и осевое перемещение шпинделя осуществляются в одних и тех же гидростатических опорах. Фрагмент такого шпиндельного узла показан на рис. 7.5, *в*. От главного двигателя *М1* вращение передается через двухступенчатую коробку скоростей *2* выдвижному шпинделю *7*, установленному в радиальных гидростатических подшипниках *6* и *5*. Кроме вращения шпиндель также перемещается в этих подшипниках от электродвигателя *М2*, вращающего шариковый винт *4*. Для исключения прогиба выдвижного шпинделя *7* последний связан жесткой муфтой с выходным валом коробки скоростей *2*, которая перемещается в направляющих качения *1* (см. рис. 7.5, *в* сечение *А—А*) с помощью передачи *3—4* винт—гайка качения.

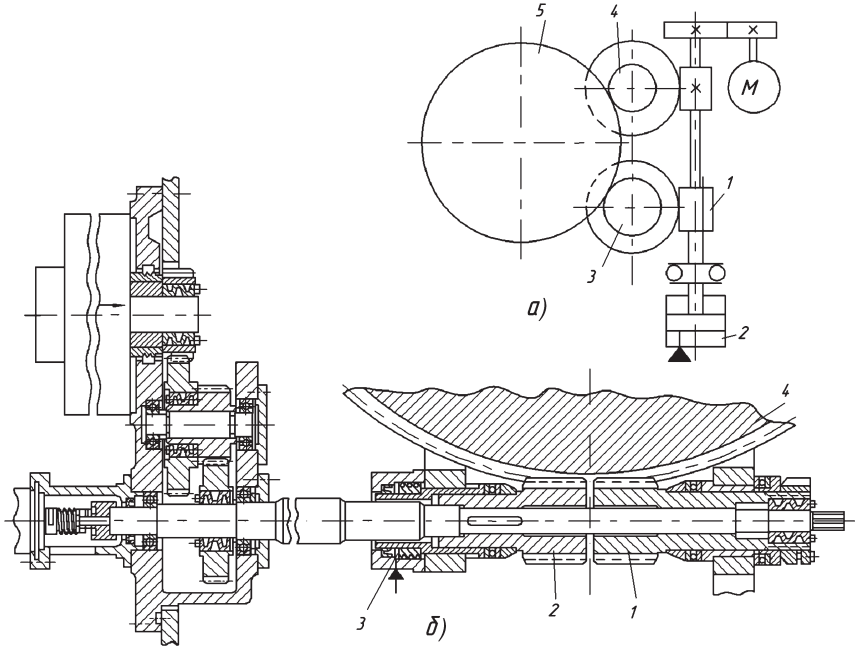


Рис. 7.6. Схемы приводов поворотного стола с выборкой зазора:
а — с зубчатым колесом на конечном звене; *б* — с червячной парой

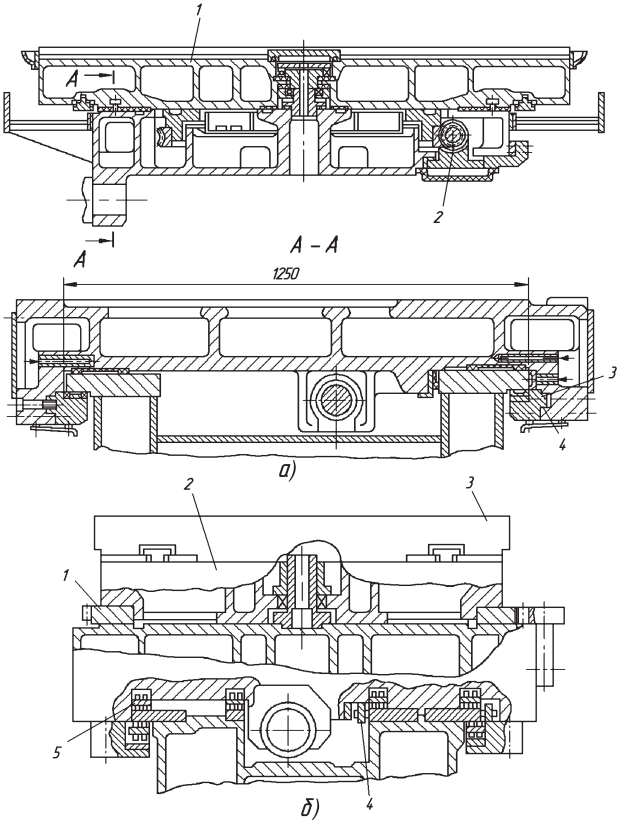


Рис. 7.7. Конструкции столов горизонтально-расточных станков:
а — с гидростатическими направляющими поворотного стола и прямолинейного перемещения; *б* — с направляющими качения для прямолинейного перемещения

Столы станков. В большинстве случаев стол кроме перемещений обеспечивает круговое позиционирование поворотной части в пределах 360°. Точность позиционирования составляет от 5 до 15″. Кинематические схемы приводов вращения столов с выборкой зазора приведены на рис. 7.6. В схеме рис. 7.6, *а* это осуществляется при осевом перемещении червяка *1* гидроцилиндром *2*, в результате которого происходят относительный поворот колес *3* и *4* и выборка зазоров в венце *5*. На рис. 7.6, *б* зазор в зацеплении между червячным колесом *4* и соосно установленными червяками *1* и *2* выбирается гидроцилиндром *3*, перемещающим в осевом направлении червяк *2*. Колесо *4* выполняют коррегированным, благодаря чему поля зацепления колес с червяками удаляются от средней линии колеса и удается разместить червяки на одной оси таким образом, чтобы они находились в нормальном зацеплении с колесами. Для прямолинейного перемещения используют практически все типы направляющих: скольжения, комбинированные, гидростатические (рис. 7.7, *а*), качения (рис. 7.7, *б*), аэростатические (см. т. 1, рис. 5.28).

В конструкции по рис. 7.7, *а* для повышения жесткости замкнутых гидроста-

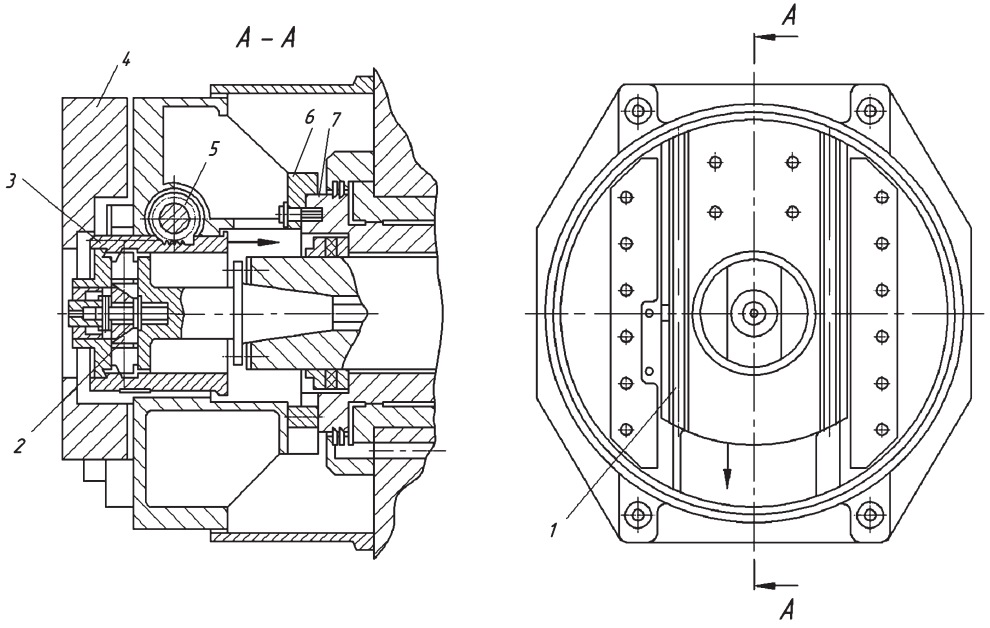


Рис. 7.8. Планшайба с ползушкой, перемещаемой в радиальном направлении

тических направляющих на планке *3* предусмотрен уступ *4*, воспринимающий нагрузку, возникающую при подаче масла в карманы направляющих (по два кармана на каждой из них). Вращение стола *1* при круговом фрезеровании и при повороте на заданный угол осуществляется от беззазорной червячной передачи *2*, выполненной по схеме рис. 7.6, *б*. В конструкции на рис. 7.7, *б* поворотный стол *2* с установленным на нем спутником *3* выполнен на направляющих скольжения из антифрикционного материала. Для прямолинейного перемещения используются опоры качения *4* и *5* для базирования как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Для расширения технологических возможностей станки оснащаются различными сменными узлами: угловыми и универсальными фрезерными головками, планшайбами (рис. 7.8) и другими устройствами. Фрезерные головки устанавливаются на торце шпиндельной бабки (центрируясь по отверстию) и передают вращение от выдвижного шпинделя на рабочий шпиндель головки. С их помощью можно фрезеровать поверхности, параллельные оси шпинделя (см. рис. 7.1, *г*, схему *I*), а также взаимно-перпендикулярные поверхности при использовании поворотной универсальной фрезерной головки (см. рис. 7.1, *г*, схему *II*). Для подрезки торцов, растачивания канавок, обработки наружной цилиндрической поверхности (см. рис. 7.1, *г*, схему *III*) используют планшайбу с радиально перемещаемой ползушкой (см. рис. 7.8). Планшайба *6* закрепляется на торце полого шпинделя *7* шпиндельной бабки и вращается вместе с ним. Ползушка *4* получает перемещение в радиальном направлении (перпендикулярно оси шпинделя) через реечные передачи *5* (показана одна из них). Перемещение втулки-рейки *3* осуществляется выдвижным шпинделем станка. Относительное

положение шпинделя и ползушки регулируется клиновым механизмом *2*. На ползушке *4* в Т-образных пазах *1* закрепляют резцедержатель.

7.2. Координатно-расточные станки

Координатно-расточные станки используются, в основном, при обработке деталей, к поверхностям которых предъявляются высокие требования по точности. На станках можно сверлить и растачивать отверстия (в том числе осуществлять тонкое растачивание), зенкеровать, производить чистовое фрезерование плоскостей и фрезеровать канавки, нарезать резьбу метчиком (см. рис. 7.1, *а*—*в*). С помощью наклонно-поворотного стола возможна обработка отверстий, расположенных под углом к базовым поверхностям. Станки можно использовать и в качестве измерительных машин для контроля: линейных размеров по трем осям, угловых размеров, межцентровых расстояний. Можно осуществлять точную маркировку в виде кернения, а также производить деление и разметку на металлических поверхностях. Среднее значение погрешностей на станках составляет:

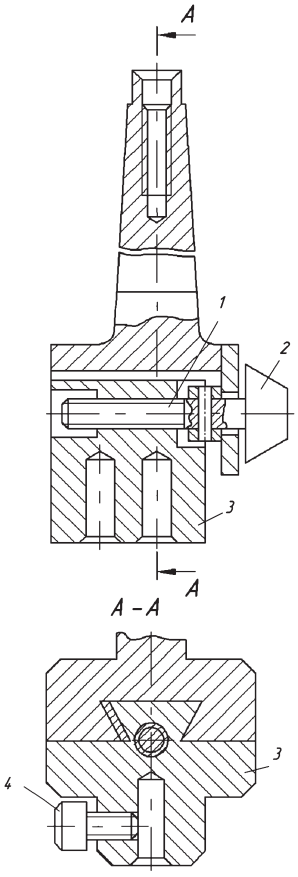


Рис. 7.9. Расточная головка с точной подачей резца

- отклонение от круглости обрабатываемого отверстия 2…3 мкм;
- постоянство диаметра в продольном сечении (на длине 50 мм) 2…5 мкм;
- погрешность межосевых расстояний отверстий 4…5 мкм;
- точность линейных координатных перемещений 2…3 мкм;
- точность отсчета 1 мкм;
- угловая погрешность 1 с.

В связи со спецификой обработки, связанной с малыми припусками (десятые и сотые доли миллиметра), с необходимостью точной выставки и малой подачи инструмента станки оснащаются различными приспособлениями для облегчения работы.

Расточные головки (рис. 7.9) обеспечивают точную подачу резца при повороте винта *1* и отсчете по лимбу *2* с ценой деления 0,01…0,02 мм. Фиксация резца в корпусе *3* осуществляется винтом *4*.

Рискообразователь (рис. 7.10) предназначен для разметки деталей и нанесения окружностей на них. Он состоит из хвостовика *1*, входящего в шпиндель станка, корпуса *2*, линейки *4*, перемещающегося по ней движка *3* с наконечником *5*. Положение движка на линейке фиксируется винтом *6*. Радиус окружности устанавливается по линейке *4*. При нанесении точных окружностей радиус устанавливают с помощью концевых мер, помещаемых между корпусом *2* и движком *3*.

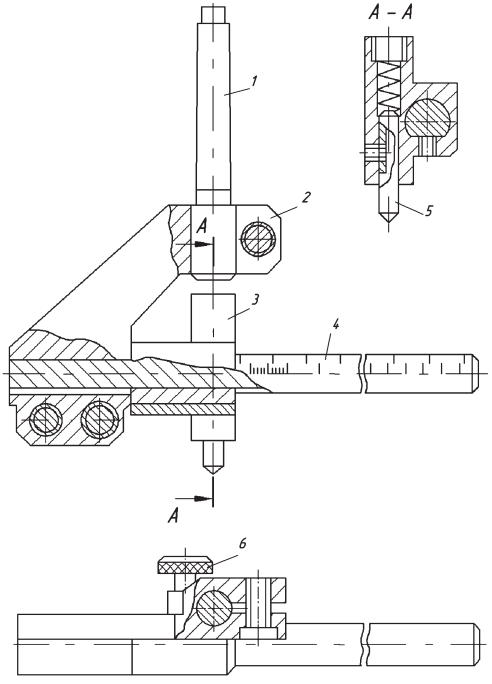


Рис. 7.10. Рискообразователь

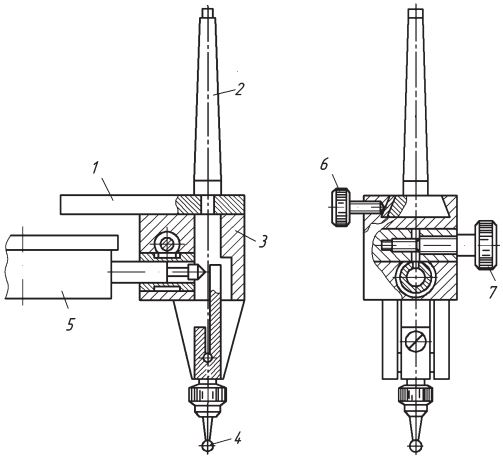


Рис. 7.11. Центроискатель рычажный

Центроискатель рычажный (рис. 7.11) с индикатором *5* применяется для совмещения оси обрабатываемого отверстия с осью шпинделя; для проверки параллельности или перпендикулярности какой-либо плоскости заготовки относительно плоскости стола. Центроискатель состоит из направляющей планки *1* с хвостовиком *2* для установки в шпинделе, корпуса *3*, на котором закрепляется индикатор *5* и контактный рычаг *4* со сменным наконечником. Корпус *3* перемещается вдоль планки *1* в зависимости от радиуса, на котором происходит проверка. Закрепление корпуса осуществляется маховичком *6*, а индикатора *5* — маховичком *7*. Также используется оптический центроискатель, устанавливаемый на шпинделе. Для совмещения кромки изделия, точки, нанесенной керном, или отверстия малого диаметра с осью шпинделя используют визирный угольник. Его накладывают на базовую кромку заготовки и совмещают ось микроскопа (установленного на шпинделе) с риской визирного угольника.

Для расширения технологических возможностей со станками могут поставляться различные дополнительные принадлежности, включающие поворотные столы, универсальные расточные головки и др. Отдельные параметры технической характеристики станков в соответствии с ГОСТ 30175—94 приведены в табл. 7.2.

Компоновка станков. Станки подразделяются на двухстоечные с вертикальной осью шпинделя (рис. 7.12, *а*) и одностоечные с вертикальной (рис. 7.12, *б*) и горизонтальной (рис. 7.12, *в*) осями шпинделя (в отечественном станкостроении горизонтальные компоновки не используются). Двухстоечные станки могут изготавливаться с одной или двумя шпиндельными бабками. Преимущество двухстоечной компоновки состоит в том, что благодаря симметричной конструкции тепловые деформации меньше сказываются на точности. Кроме того, погреш-

7.2. Основные технические характеристики координатно-расточных станков (размеры в мм)

Параметр	Размеры, мм					
Ширина *B* рабочей поверхности стола	250	320	400	630	800	1000
Длина рабочей поверхности стола	360 / —	560 / —	710 / 560	1120 / 900	— / 1120	— / 1600
Продольный ход стола, не более	200	400	630 / 500	1000 / 800	— / 1000	— / 1400
Поперечный ход стола или шпиндельной головки, не более	200	250	400	630	800	1000
Наибольший ход гильзы шпинделя	71	125	160	220	280	360
Вылет шпинделя, не менее	250	320	450	710	—	—
Расстояние *A* между стойками	—	—	560	900	1200	1400
Расстояние *H* от торца вертикального шпинделя до рабочей поверхности стола:						
максимальное	320	500	630	750	900	1000
минимальное	100	125	160	200	220	250
Конец шпинделя по ГОСТ 30064:						
с конусом Морзе	0 / 2	2	3	40		
с конусом 7:24	30 / 40		40 / 50	45 / 50	50	

Примечания. 1. Параметры приведены для станков с вертикальной осью шпинделя. 2. Длину рабочей поверхности и наибольший продольный ход стола одностоечных станков следует применять по числителю дроби, а для двухстоечных станков — по знаменателю дроби указанных в таблице размеров.

ность положения по каждой оси (перемещение стола *2* или шпиндельной бабки *1*) не зависит от погрешности перемещений по другим осям. Одностоечная компоновка (рис. 7.12, *б*) обеспечивает хороший доступ к заготовке. В ней имеет место взаимное влияние перемещений столов на точность по каждой координате. Вследствие вылета шпиндельной головки температурные деформации выше в 2…3 раза, чем в двухстоечных станках. Компоновка с горизонтальной осью (рис. 7.12, *в*) имеет более широкие технологические возможности и позволяет обрабатывать заготовки большой высоты, однако достижение высокой точности значительно сложнее.

Станки выпускаются с разным уровнем автоматизации: от станков с ручным перемещением столов по координатным осям до станков с ЧПУ. Привод главного движения обычно выполняют регулируемым с минимальным количеством зубчатых колес. Величина подачи гильзы шпинделя лежит в пределах 0,01…0,2 мм/об (часто берет движение от главного привода). Подача столов происходит со скоростью от 0,5 до 3 м/мин.

На рис. 7.13 приведена кинематическая схема вертикального станка с размером стола 250×360 мм. Привод главного движения осуществляется от двигателя постоянного тока *M1* и далее через клиновой ремень на шпиндель, обеспечивая диапазон частот вращения от 150 до 3000 мин$^{-1}$. Ручная подача шпинделя

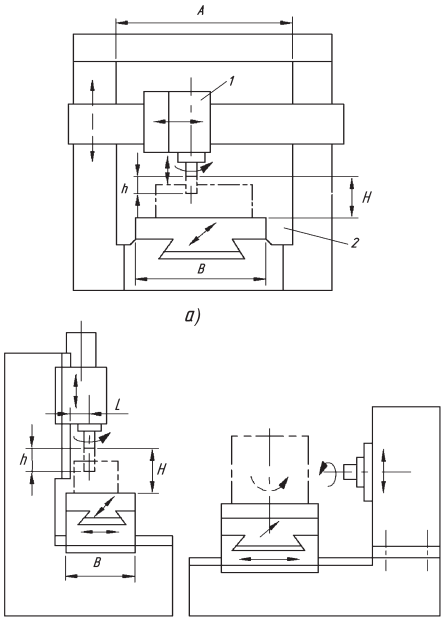


Рис. 7.12. Компоновки станков

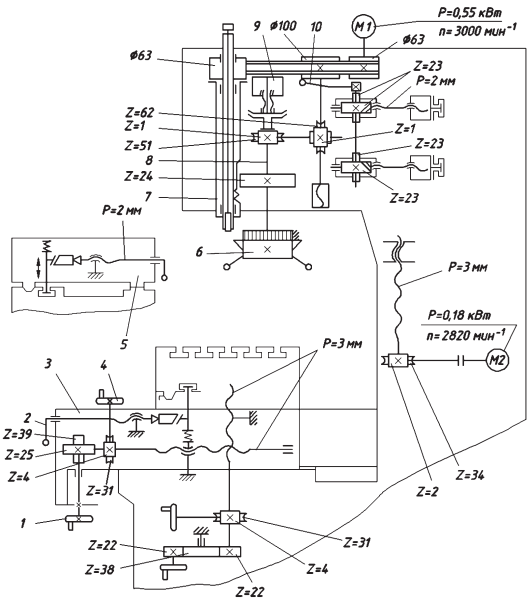


Рис. 7.13. Кинематическая схема станка со столом 250×360 мм

производится маховичком *6* через колесо $Z = 24$, сцепленное с рейкой гильзы *7* шпинделя. При механической подаче вращение берется от главного привода *M1* и передается через шкив диаметром 100 мм, червячную передачу 1/62, червячную передачу 1/51 при включенной муфте *9*, соединяющей червячное колесо $Z = 51$ с валом *8*. Установочное перемещение шпиндельной головки вверх-вниз осуществляется от электродвигателя *M2*.

Шпиндельная головка зажимается рычагом *10* через винтовые зубчатые передачи $Z = 23$; винты на тягах с сухарями, входящими в *Т*-образные пазы стойки. Ручное перемещение продольных салазок *5* (грубое и точное) осуществляется с помощью маховичков. Ручное перемещение поперечных салазок *3* производится маховичками *4* и *1*. Салазки зажимаются рычагом *2*.

Конструкции отдельных узлов. *Шпиндельная головка* (рис. 7.14) определяет форму растачиваемого отверстия и должна обеспечивать высокую точность вращения при минимальном выделении тепла и отсутствии вибраций. В ней расположены:

- главный привод, включающий в себя регулируемый двигатель *8*, передающий вращение через клиноременную передачу на шпиндель;
- механизм автоматической подачи шпинделя (от двигателя *8*);
- устройство отсчета перемещения гильзы шпинделя (*2*, *3*, *4*);
- механизмы зажима *9* шпиндельной головки на стойке станка после ее перемещения по *V*-образным направляющим *11* и *12*. Крутящий момент от разгруженного шкива *6* на шпиндель (см. также рис. 7.15) передается двумя шпонками *5* (у станков больших размеров шлицевый вал главного привода входит в соответствующее отверстие шпинделя).

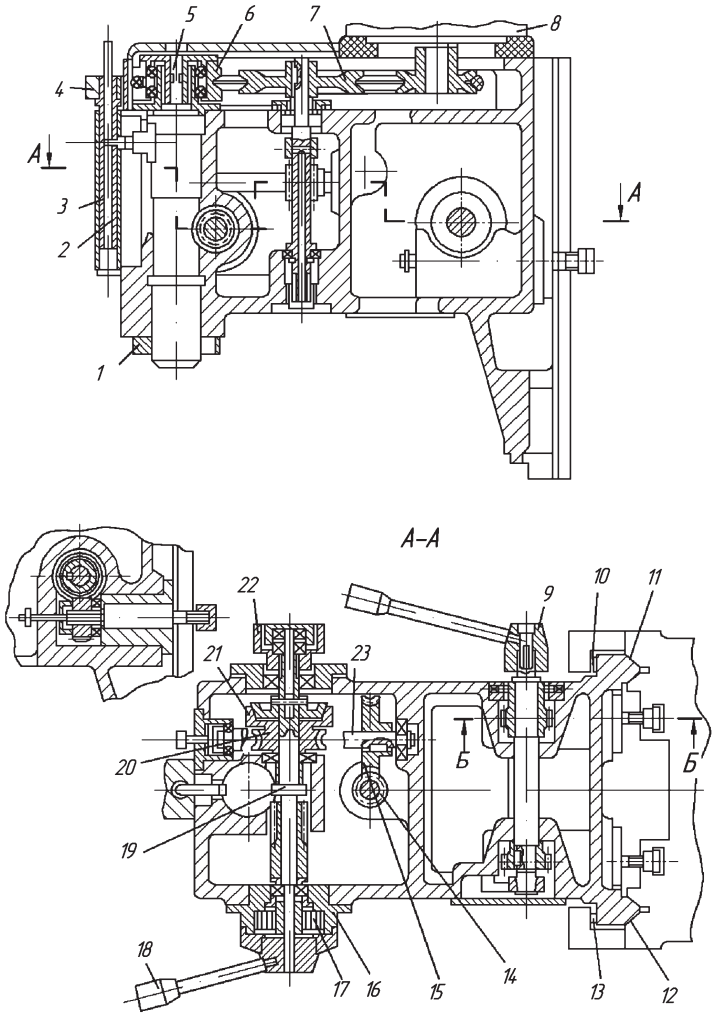


Рис. 7.14. Шпиндельная головка

Автоматическая подача шпинделя осуществляется от промежуточного шкива *7*, передающего вращение от главного привода, через две червячные передачи *14—15* и *23—20* на зубчатое колесо *19*, связанное с рейкой *1* (см. рис. 7.15) гильзы шпинделя. Включение подачи осуществляется фрикционной муфтой *21* при вращении маховичка *22*. Ручная подача производится рычагом *18*. Для уравновешивания шпинделя и возврата его в верхнее положение в барабане *16* установлена спиральная пружина *17*. Устройство отсчета перемещений выполнено в виде штока *2*, соединенного с гильзой шпинделя, а также регулирующего штока *3* с упором *4*. Шпиндельная головка прижимается к направляющим стойки с постоянным усилием с помощью четырех подпружиненных упоров *10* и *13*. При фрезеровании шпиндель вручную фиксируется кольцом *1*, закрепленным на корпусе головки. В качестве опор шпинделя (см. рис. 7.15) используют роликовые

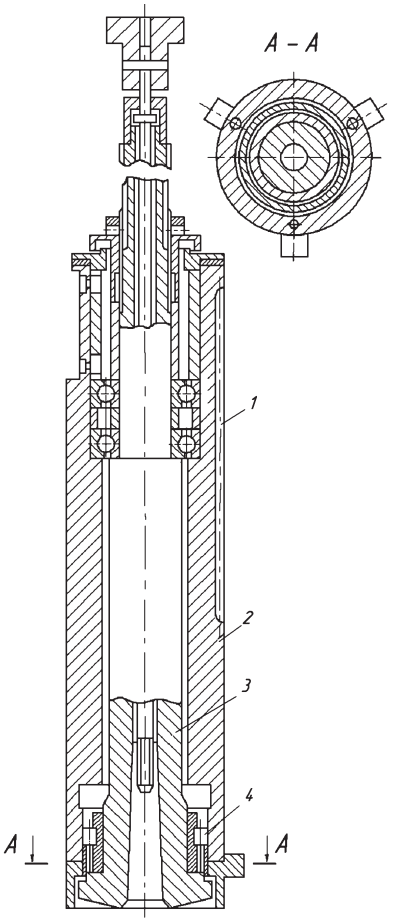


Рис. 7.15. Шпиндель станка

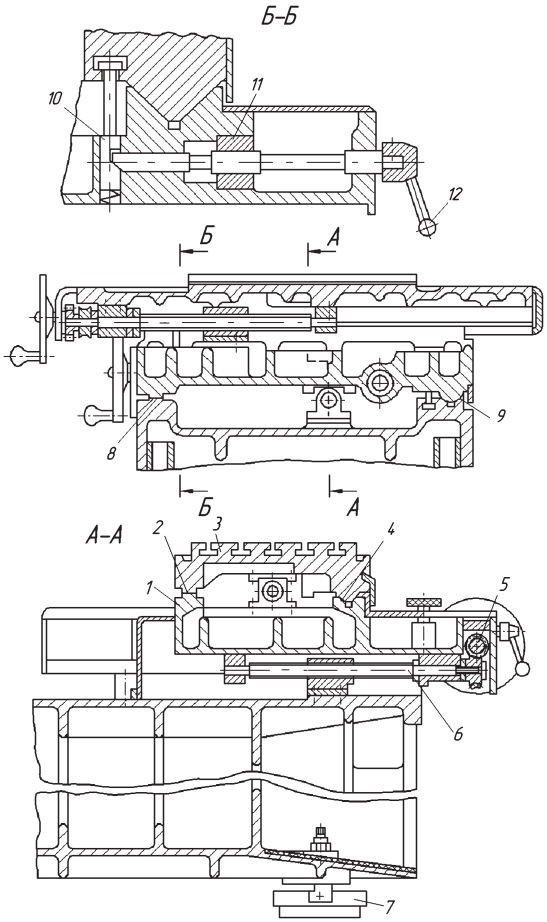


Рис. 7.16. Столы станка

подшипники с небольшим натягом (2…4 мкм) в нижней опоре и с небольшим зазором (2 мкм) — в верхней. В однорядных подшипниках *4* натяг обеспечивается доводкой диаметров роликов в комплекте по замерам колец. Шпиндель *3* выполняют из высоколегированных (часто азотируемых) сталей, обеспечивающих стабильность размеров во времени. В качестве опор используются также двухрядные цилиндророликовые подшипники в сочетании с шариковыми (см. т. 1, рис. 5.65, схему 3), а также радиально-упорные шарикоподшипники по схеме 5 «триплекс» (см. т. 1, рис. 5.65). Во всех случаях применяют самые совершенные методы смазывания для уменьшения тепловыделения в опорах. Гильза *2* шпинделя, осуществляющая подачу шпинделя, устанавливается в опорах скольжения.

Столы станка. Столы станка обеспечивают точность координатных перемещений заготовки, поэтому используют сочетания плоской и *V*-образной направляющих скольжения *2* и *4* и *8* и *9* (рис. 7.16) или качения. Станина станка устанавливается на виброизолирующих опорах *7*. Поперечное перемещение салазок

1 осуществляется через червячную передачу *5* и винтовую передачу *6*. Аналогичную конструкцию имеет привод продольного перемещения стола *3*. Механизм зажима стола и салазок состоит из рукоятки *12*, винтового *11* и кулачкового *10* механизмов. Для перемещения столов используется оптическое устройство, состоящее из стеклянной отсчетной линейки и бесконтактного фотоэлектрического датчика (который служит для преобразования линейных перемещений в электрические сигналы) и блока отсчета.

Особенности станков связаны с необходимостью получения высокой точности обработки поверхностей (межосевых расстояний, параллельности и перпендикулярности отверстий, формы и размера отверстий). Для достижения высокой точности предусматриваются следующие меры.

1. Эксплуатация станка в изолированном помещении при температуре 20 ± 1 °С. Место установки должно быть защищено от солнечных лучей, источников тепла и вибраций. Станки устанавливают на массивный фундамент с виброизолирующими опорами.

2. Специальные механизмы зажима заготовки, исключающие возникновение поперечных сил и моментов на заготовке при закреплении. Стараются выбрать схему закрепления с минимальным силовым потоком, а также исключающую приложение усилий к частям заготовки, к которым предъявляются высокие требования по точности. Недостаточную жесткость самой заготовки нельзя компенсировать ни зажимным приспособлением, ни инструментом.

3. Применение оптических устройств (чаще всего стеклянных штриховых мер) для контроля координатных перемещений узлов с точностью 1 мкм на длине 1000 мм.

4. Специальные конструктивные решения для уменьшения влияния упругих и тепловых деформаций (механизмы уравновешивания шпинделя; устройства для охлаждения инструмента; использование узлов и направляющих с высокой статической и динамической жесткостью, с высокой степенью равномерности перемещений и т.п.).

5. Для уменьшения тепловых деформаций применяют материал с малым коэффициентом линейного расширения и используют различные схемы компенсации деформаций. Большое внимание уделяется также технологическим вопросам изготовления (многократные старения базовых деталей, применение методов обработки, обеспечивающих высокую точность, тщательная отработка деталей на технологичность и т.п.).

7.3. Отделочно-расточные станки

Алмазно-расточные станки принадлежат к группе отделочных станков. Они предназначены для тонкого растачивания точных цилиндрических поверхностей, а при наличии дополнительной оснастки — для обработки торцов, канавок, конических и фасонных поверхностей вращения. Эти станки наиболее эффективны в условиях массового, крупносерийного, а иногда и мелкосерийного производства. Под тонким растачиванием понимают окончательную отделочную обработку отверстий, выполняемую алмазным или твердосплавным режущим инструментом. Алмазное растачивание в ряде случаев заменяет

шлифование. Наряду с растачиванием отверстий проводятся одновременная обработка нескольких отверстий с параллельными осями и последовательная обработка соосных отверстий, что позволяет достичь высокую точность относительного расположения осей до 0,005 мм. Процесс тонкого растачивания характеризуется высокими скоростями резания до 1000 м/мин, малой подачей 0,01…0,1 мм/об, небольшой глубиной резания 0,05…0,5 мм. На станках достигается высокая точность обработки отверстий — отклонение от круглости 3…5 мкм и шероховатость поверхности *Ra* 0,16...0,63.

К алмазно-расточным станкам предъявляют высокие требования, главными из которых являются: высокая частота вращения шпинделя 6000…12 000 мин$^{-1}$; устойчивые малые подачи — менее 0,04 мм/об; бесступенчатое регулирование подачи, достаточно высокая скорость ускоренных ходов 4…7 м/мин; повышенные требования к уровню вибраций.

В табл. 7.3 и на рис. 7.17, *I*—*VI* приведены примеры прецизионного растачивания.

7.3. Примеры прецизионного растачивания

Деталь. Операция	Схема на рис. 7.17	Материал	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Режим обработки			
				n, мин$^{-1}$	v, м/мин	S, мм/об	t, мм
Картер переднего моста. Растачивание отверстий	*I*	Ковкий чугун КЧ 35-10 137…157 НВ	$113^{+0,054}$ $62^{+0,02}_{+0,05}$	500	177,5 97,3	0,17	0,3
Шатун. Растачивание большой головки	*II*	Сталь 40Х 217…248 НВ	$69^{+0,03}$	425	93	0,2	0,11
Растачивание малой головки		Бронза	$27{,}997^{+0,01}$	2600	228	0,03	0,25
Шаровая опора. Растачивание двух отверстий	*III*	Сталь 40ХН 229…269 НВ	$38^{+0,027}$	985	117,3	0,08	0,3
Зубчатое колесо. Растачивание отверстия	*IV*	Сталь 25ХГМ 35…45 HRC	$52^{+0,03}$	450	73,5	0,1	0,3
Подрезание четырех торцов			Св. 52 до 70 Св. 142 до 171,5	200	108	0,12	0,2
Поршень. Наружное обтачивание по копиру. Растачивание двух отверстий (в линию)	*V*	Алюминий АЛ30 100…130	$100^{+0,008}_{-0,023}$ $28^{+0,005}_{-0,015}$	600 2800	1887 250	0,18 0,1	0,12 0,1
Рейка-поршень. Растачивание двух отверстий	*VI*	Сталь 18ХГТ 30…40 HRC	$65^{+0,008}_{-0,023}$ $30^{+0,033}$	220 320	45 30	0,12 0,18	0,25 0,3

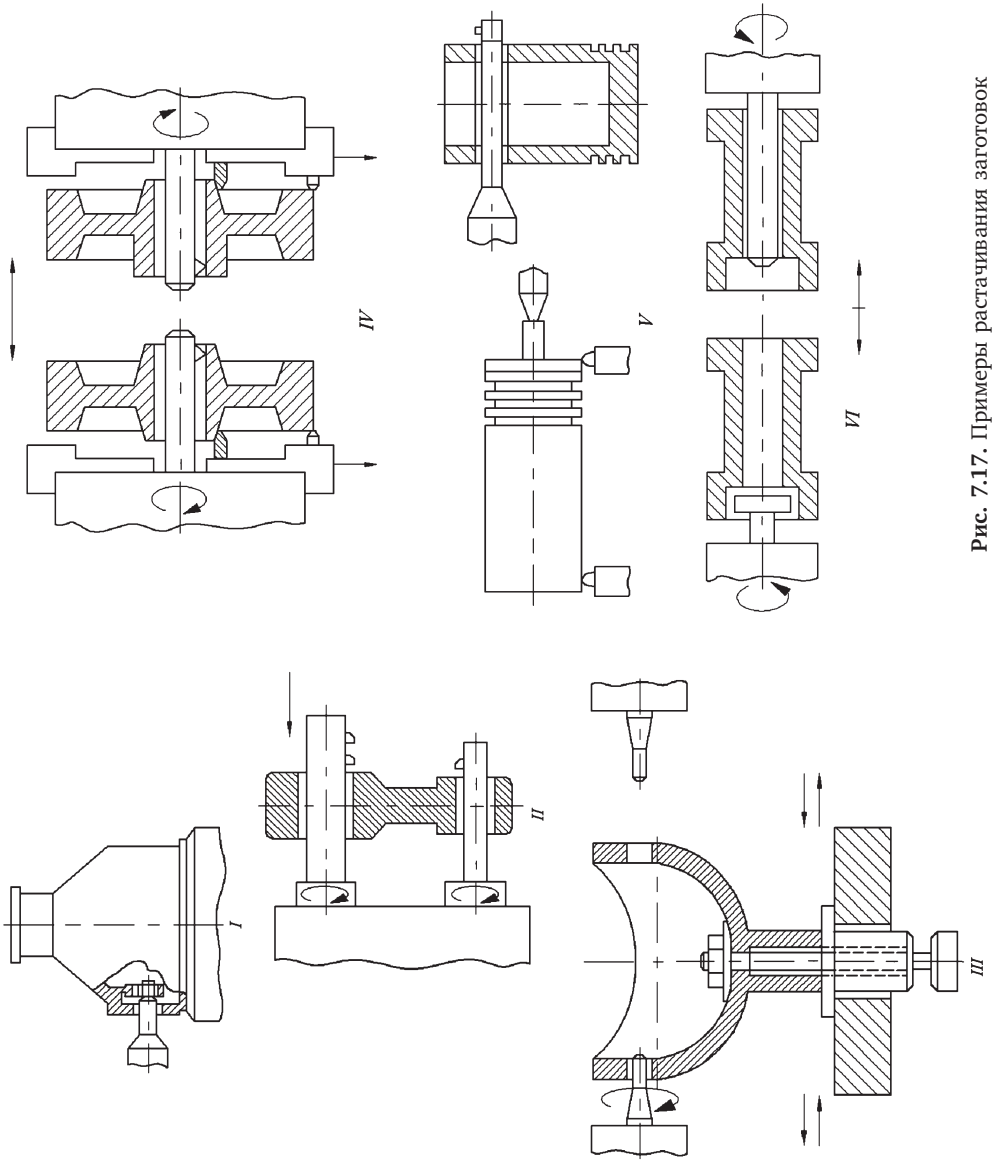


Рис. 7.17. Примеры растачивания заготовок

Компоновки. Основное различие станков заключается в расположении оси шпинделя в пространстве и относительном перемещении инструмента и заготовки вдоль оси (рис. 7.18). По расположению оси шпинделя *4* в пространстве станки бывают горизонтальные (*а, б, в, г*), вертикальные (*д, е*), наклонные (*ж*), комбинированные (*з*). По относительному перемещению шпинделя *4* и стола *5* станки бывают с подвижным столом *5*, с подвижными шпиндельными головками *3*, с подвижными шпинделями *4* (корпусы шпиндельных головок *3* в этом случае неподвижны), с различными комбинациями движений стола *5* и шпинделя *4*.

Наиболее распространенные — горизонтальные станки с подвижным столом, перемещающимся параллельно оси шпинделя (рис. 7.18, *а*, *в*). Стол *5* движется по направляющим вдоль станины *1*, а шпиндельные головки *3* установлены на неподвижных мостиках *2*. На мостике располагаются одна (рис. 7.18, *а*) или несколько шпиндельных головок (рис. 7.18, *б, г*). Горизонтальные станки со столом, перемещающимся перпендикулярно оси шпинделя (рис. 7.18, *б, г*), имеют

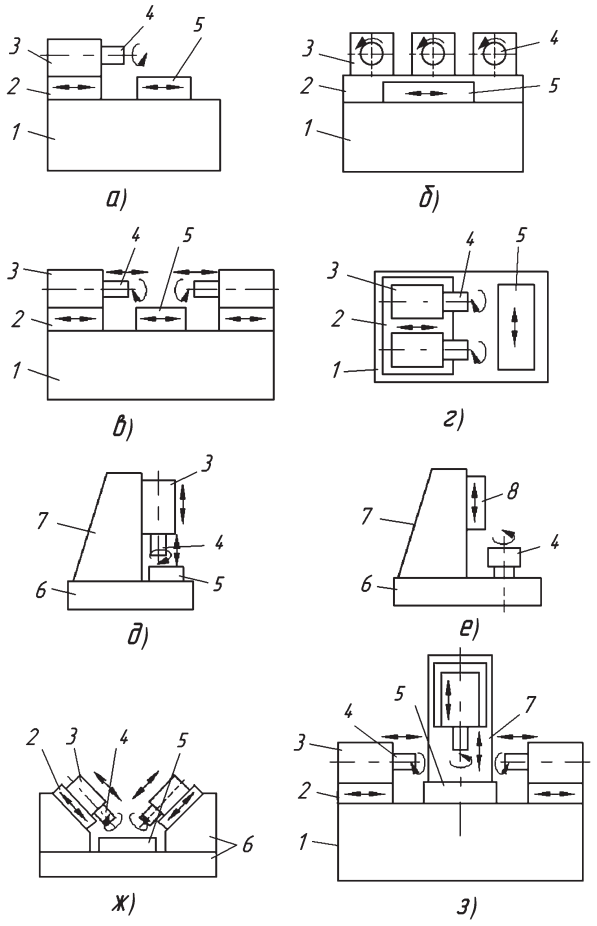


Рис. 7.18. Компоновки алмазно-расточных станков:
1 — станина; *2* — мостик; *3* — шпиндельная головка; *4* — шпиндель; *5* — стол; *6* — основание; *7* — колонна; *8* — суппорт

ограниченное применение — для тонкого подрезания (торцевания) плоскостей деталей одно- или многолезвийным инструментом.

Вертикальные алмазно-расточные станки (рис. 7.18, *д, е*) целесообразно применять для обработки глубоких отверстий, при растачивании которых прогиб расточных оправок от собственной силы тяжести может существенно снизить точность обработки. На таких станках удобно обрабатывать отверстия, оси которых перпендикулярны базовой плоскости. Вертикальные станки позволяют экономить производственную площадь до 30%. Вместе с тем они уступают горизонтальным по точности, так как при перемещении расточной головки по направляющим стойки *7* (рис. 7.18, *д)* работают вспомогательные грани (планки) под воздействием силы тяжести головки *3*.

Вертикальные станки выпускаются с подвижными шпиндельными головками, шпинделями (рис. 7.18, *д*) или с подвижными инструментальными суппортами (рис. 7.18, *е*). Наиболее распространены станки с подвижными шпиндельными головками при верхнем расположении шпинделей (рис. 7.18, *д*). Обычно станки изготовляются одношпиндельными и снабжены столом, имеющим установочные перемещения в горизонтальной плоскости. Такие станки применяются в единичном и мелкосерийном производстве.

Станки, показанные на рис. 7.18, *е*, применяются для чистовой обработки круглых деталей большого диаметра. Деталь закрепляется в патроне шпинделя, расположенного в нижней части станка. Инструментальные суппорты обеспечивают рабочую подачу резцов в вертикальном направлении. Наклонные станки применяются для растачивания блоков цилиндров двигателей. Комбинированные алмазно-расточные станки (рис. 7.18, *з*) предназначены для одновременного растачивания отверстий с параллельными и перпендикулярными осями.

Конструкции алмазно-расточных станков. *Горизонтальные станки* с подвижным столом — наиболее распространенная группа алмазно-расточных станков. Кинематическая схема одного из них мод. 2712А показана на рис. 7.19. Это станок особо высокой точности, предназначенный для двухстороннего окончательного растачивания соосных отверстий, а также для подрезки торцов в корпусных деталях. Станок обеспечивает: отклонение диаметра отверстия в любом сечении не более 0,003 мм для отверстий диаметром 120 мм на длине 1000 мм; шероховатость поверхности отверстий и торцов при обработке чугунных и стальных деталей в пределах $Ra = 0{,}63…2{,}5$, а при обработке деталей из цветных сплавов — в пределах $Ra = 0{,}04…0{,}32$. Технические характеристики станка приведены ниже.

Размеры рабочей поверхности стола, мм . . . . . 500×710
Перемещение стола, мм 630
Расстояние между торцами шпинделей, мм 1120
Диаметр подрезаемого торца, мм 280
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$ . . . . . 150…1000
Подача стола, мм/мин . . . . . 2,5…100

Главное движение обеспечивают одним из регулируемых электродвигателей *М1* или *М2* ($P = 2$ кВт, $n = 420…2800$ мин$^{-1}$) через ременные передачи 90/250.

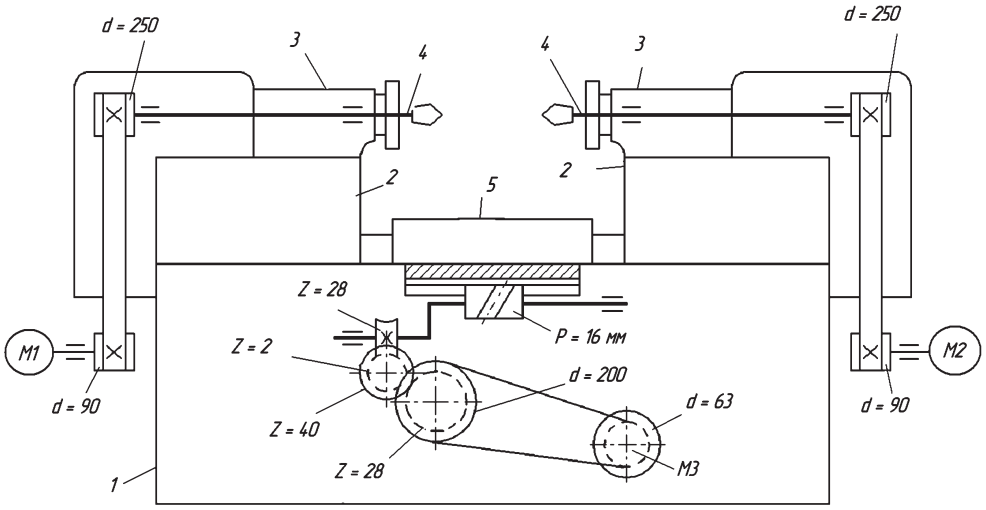


Рис. 7.19. Кинематическая схема алмазно-расточного станка мод. 2712А:
1 — станина; *2* — мостики; *3* — расточные головки; *4* — шпиндель; *5* — стол

Движение подачи обеспечивают также регулируемым электродвигателем *М3* ($P = 0{,}45$ кВт, $n = 10\ldots400$ мин$^{-1}$) через ременную передачу 63/200, зубчатую передачу 28/40, червячную пару 2/28 и через пару червяк—косозубая рейка, которая прикреплена к столу. Применение в станке данного типа гидростатических опор шпинделя позволяет снизить отклонение от круглости растачиваемого отверстия до 0,0006…0,001 мм.

Вертикально-отделочный станок мод. 2А78 (рис. 7.20) предназначен для тонкого растачивания гильз и блоков цилиндров двигателей, а также для сверления и расточки отверстий в различных деталях. Технические характеристики станка приведены ниже.

Диаметр растачиваемого отверстия, мм:
- минимальный 27
- максимальный 200

Диаметр сверления, мм, не более 15

Размеры обрабатываемых деталей, мм, не более . . . . . 750×500×450

Масса обрабатываемой детали, кг, не более 200

Расстояние от торца шпинделя до стола, мм:
- минимальное 25
- максимальное 525

Размеры рабочей поверхности стола, мм . . . . . 250×2500

Величина перемещения стола, мм:
- в продольном направлении 800
- в поперечном направлении 150

Вертикальное перемещение шпиндельной бабки, мм 500

Кинематическая схема станка мод. 2А78 (см. рис. 7.20) состоит из следующих цепей: главного движения, движения подачи, ускоренных перемещений шпин-

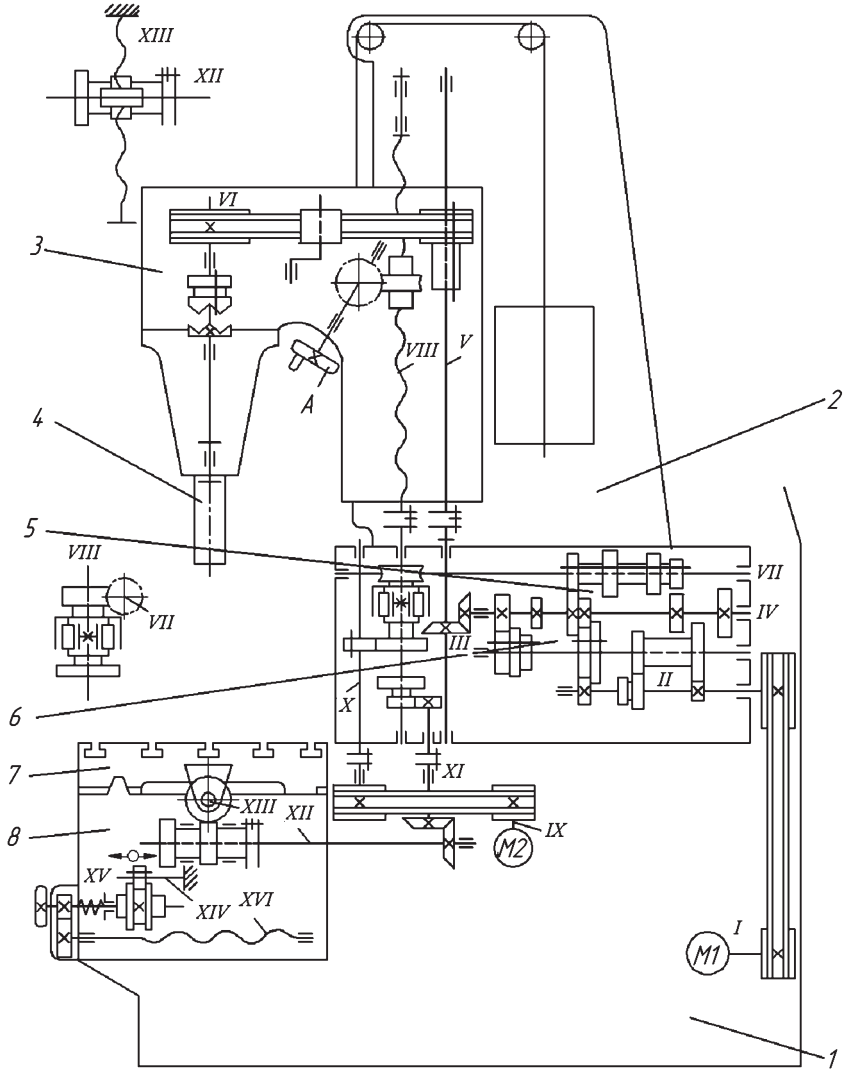


Рис. 7.20. Кинематическая схема станка мод. 2А78:
1 — основание; *2* — колонна; *3* — бабка; *4* — сменный шпиндель; *5* — коробка подач; *6* — коробка скоростей; *7* — стол; *8* — салазки

дельной бабки и стола в продольном направлении, а также ручных перемещений шпиндельной бабки и стола.

Главное движение. Вращение шпинделя *4* осуществляется от двухскоростного электродвигателя *M1* ($P = 1{,}7/2{,}3$ кВт, $n = 960/2880$ мин$^{-1}$) — с вала электродвигателя *1* через клиноременную передачу, валы коробки скоростей *II*—*III*—*IV*, вал *V*, клиноременную передачу, вал *VI*. Станок имеет 12 частот вращения шпинделя: от $n_{min} = 26$ мин$^{-1}$ до $n_{max} = 1200$ мин$^{-1}$ со знаменателем $\varphi = 1{,}41$.

Движение подачи. Величину вертикального перемещения шпиндельной бабки относят к одному обороту шпинделя. Подача обеспечивается по следующей

кинематической цепи — от вала *IV* коробки скоростей посредством скользящего блока с четырьмя колесами на вал *VII* коробки подач и через червячную передачу на ходовой винт *VIII*. Ускоренное перемещение шпиндельной бабки осуществляется от электродвигателя *M2* ($P = 0{,}6$ кВт, $n = 960$ мин$^{-1}$) через клиноременную передачу на вал *X*, через цилиндрическую передачу и обгонную муфту на ходовой винт *VIII*. При включении ускоренного перемещения обгонная муфта автоматически расцепляет червячное колесо и вал *VIII*, т.е. исключает рабочий ход шпиндельной бабки.

Конструкции характерных узлов. *Шпиндельные головки.* Шпиндельные расточные головки (сменные шпиндели) являются наиболее ответственными узлами алмазно-расточных станков, от которых главным образом зависит точность формы и шероховатость поверхности расточенных отверстий. На рис. 7.21 показана типовая конструкция шпиндельной головки, применяемой в горизонтальных станках. Изготовленный из стали 40Х термообработанный и шлифованный шпиндель *3* вращается на двух опорах, смонтированных в чугунном корпусе *4*. Каждая опора состоит из двух радиально-упорных шарикоподшипников *7*. За счет разной ширины втулок *8* и *9* в опоре создается предварительный натяг при стягивании внутренних колец опор на шпинделе с помощью гайки *2* и промежуточной втулки *5*. Наружные кольца передней опоры зафиксированы между крышкой *10* и втулкой *6*. Задняя опора выполнена плавающей для компенсации тепловых деформаций; так как наружные кольца не зафиксированы, то задняя опора воспринимает только радиальные нагрузки. Расточная оправка центрируется в закаленной втулке *11* и крепится винтами *12* к фланцу шпинделя. Приводной шкив закреплен гайкой *1* на коническом хвостовике шпинделя. После выверки положения оси шпинделя в горизонтальной плоскости головка закрепляется на мостике четырьмя болтами.

Шпиндельная бабка вертикального станка мод. 2А78 имеет три сменных шпинделя с различными диаметрами резцовых головок, а также универсальный шпиндель. На рис. 7.22,*а* показан один из сменных шпинделей, на рис. 7.22, *б* — универсальный шпиндель, а на рис. 7.22, *в* — присоединительная база шпин-

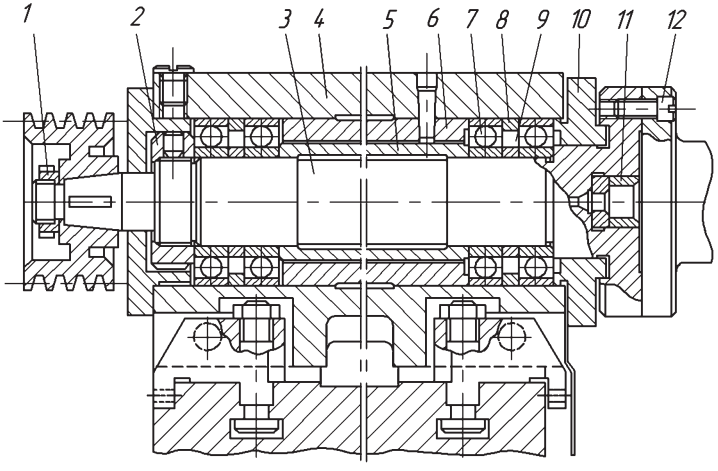


Рис. 7.21. Расточная головка горизонтального алмазно-расточного станка

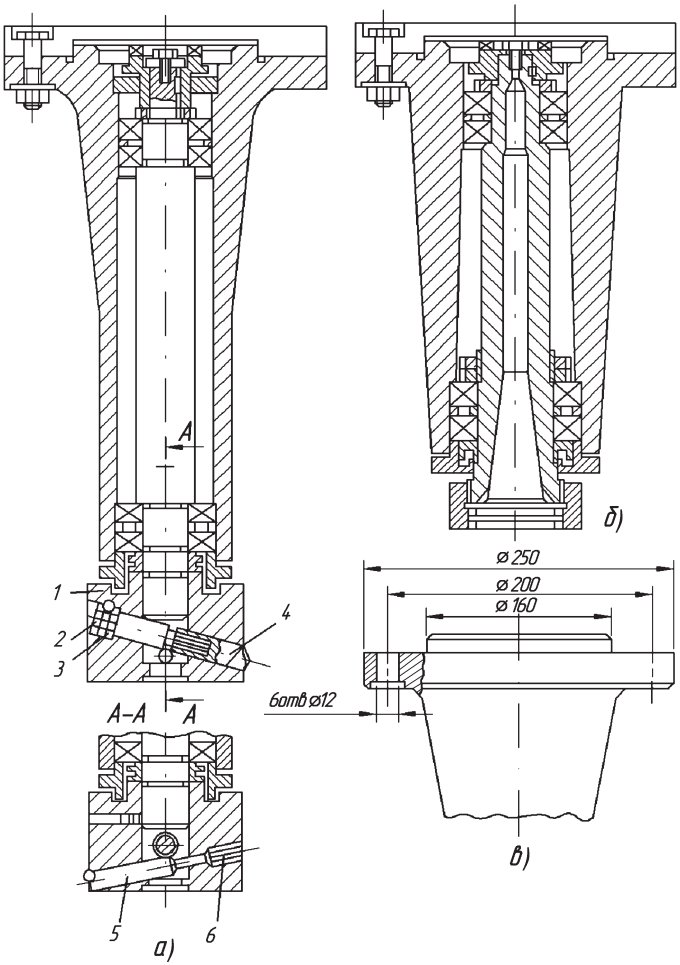


Рис. 7.22. Сменные шпиндели

делей. Шпиндели смонтированы на прецизионных радиально-упорных шариковых подшипниках качения с предварительным натягом. Центрирование детали контролируют с помощью индикаторов, устанавливаемых на торцах шпинделей, или с помощью шариковой оправки *5* (рис. 7.22, *а*), вылет которой регулируется винтом *6*. В резцовую головку *1* устанавливают резец *4* с регулировочным винтом *2* и лимбом *3*. Точность установки резца контролируют с помощью лимба 0,02 мм. Универсальный шпиндель (рис. 7.22, *б*) устанавливается для растачивания отверстий диаметрами 27...200 мм и небольших глубин и отличается от сменного шпинделя (рис. 7.22, *а*) возможностью быстрой смены разнообразного инструмента.

Точность алмазно-расточных станков. Высокая точность обработки — основной критерий, характеризующий работу алмазно-расточных станков. Растачиваемые отверстия должны иметь минимальные отклонения от круглости и цилиндричности. Погрешности, возникающие при тонком растачивании, по-

рождаются большим количеством причин, зависящих от станка, приспособления, инструмента, детали, процесса резания и условий эксплуатации станка. Однако любое сочетание погрешностей не должно превышать норм точностей обрабатываемых поверхностей на данных станках. Рассмотрим ряд причин возникновения погрешностей при тонком растачивании.

Причины, зависящие от станка. *Биение шпинделя*, являющееся причиной несовмещения осей подшипников и шпинделя, не вызывает искажения цилиндрической формы отверстия и компенсируется изменением радиального вылета резца. Допускаемая величина биения шпинделя равна 3…5 мкм на вылете оправки 300 мм. Биение подшипников с предварительным натягом зависит от некруглости и волнистости дорожек качения и при растачивании копируется на заготовке, погрешности формы дорожек не должны превышать 1…2 мкм.

Непрямолинейность направляющих и соответственно непрямолинейность движения стола при вращающемся инструменте вызывает искривление оси обработанного отверстия. Допускаемая погрешность непрямолинейности движения стола составляет 30…40 мкм на 1000 мм.

Зазоры в направляющих подвижных узлов в горизонтальной плоскости не вызывают погрешности, так как сумма сил тяжести стола, приспособления, заготовки значительно превосходит силы резания. В вертикальной плоскости под действием сил тяжести узел поворачивается на угол, зависящий от зазоров в направляющих, их длины или ширины; зазоры между направляющими стола и станины составляют 10…30 мкм.

Непараллельность направления движения стола оси шпинделя при вращающемся инструменте делает отверстие эллиптичным (отклонение от круглости), при вращающейся заготовке отверстие получается коническим или гиперболическим (отклонение образующей цилиндра). Допускаемая величина непараллельности направления движения стола и расточной борштанги не должна превышать 10 мкм на 300 мм.

Несоосность осей шпинделей расточных головок, установленных на противоположных мостиках, не должна превышать 10 мкм. Неточность расстояний между осями двух расточных головок, установленных на одном мостике, не должна превышать 10 мкм, а их непараллельность — 5 мкм на длине оправки 300 мм.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Резьбообрабатывающие станки

8.1. Общие сведения

Резьба может быть основным функциональным элементом детали (на ходовом или крепежном винте, в гайке) или небольшой ее частью (на шпинделе, в корпусе).

Обработка резьбы осуществляется как на универсальных, так и специальных станках (рис. 8.1). Преобладает изготовление резьбы резанием с использованием различного режущего инструмента (рис. 8.2, *а*—*е*), а также накатыванием (рис. 8.2, *ж*). Незаменимым инструментом для нарезания резьбы в отверстиях небольшого диаметра является метчик. Производительность накатывания в десятки раз превосходит производительность резьбонарезания, причем в некоторых случаях получается резьба, по точности приближающаяся к шлифованной.

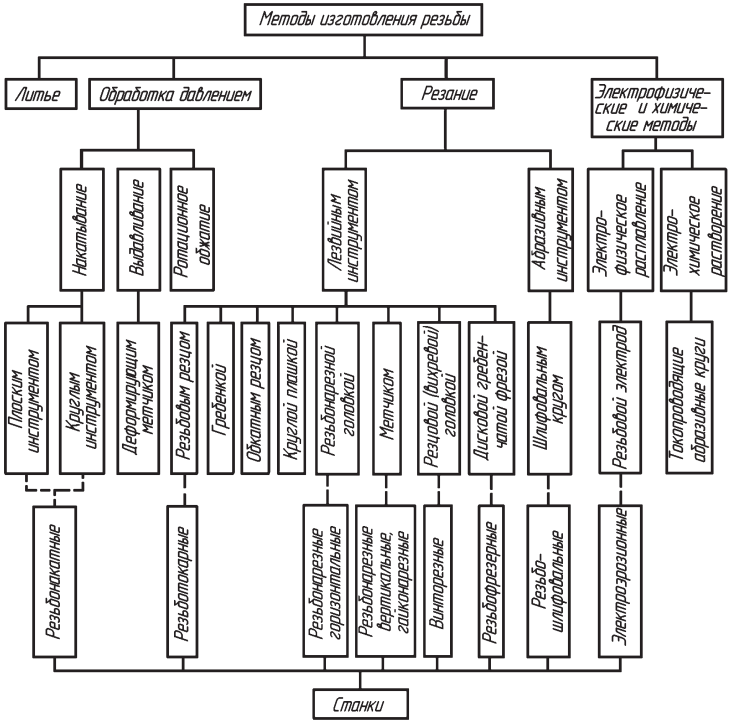


Рис. 8.1. Классификация методов изготовления резьбы, резьбового инструмента и резьбообрабатывающих станков

Недостаток метода — ограничение по свойствам материалов, поддающихся обработке давлением, неэффективность в условиях мелкосерийного производства.

8.2. Резьбонакатные станки

Резьбонакатные станки просты, поскольку обязательным в них является лишь одно движение — обката, причем без кинематической цепи согласования. Углубление инструмента может происходить без отдельного движения за счет заборной части плашки (специального ролика) или в процессе захвата инструментом заготовки, вводимой в рабочую зону касательным (тангенциальным) движением. Есть схемы и с отдельным радиальным движением для углубления. Эти станки различаются прежде всего типом инструмента (рис. 8.3). В большинстве резьбонакатных станков заготовка базируется накатываемой поверхностью по инструменту и получает вращение благодаря фрикционной связи с ним, поэтому для обработки станок создает лишь одно простое движение.

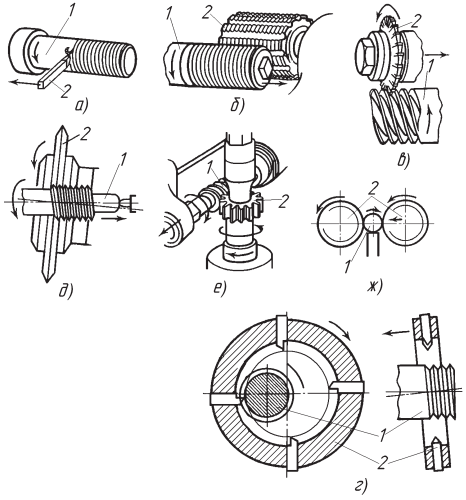


Рис. 8.2. Схемы обработки резьбы: *а* — резцом; *б* — гребенчатой фрезой; *в* — дисковой фрезой; *г* — резцовой головкой; *д* — шлифовальным кругом; *е* — обкатным резцом; *ж* — накатными роликами; *1* — заготовка, *2* — инструмент

При плоских плашках (рис. 8.3, *а*) обеспечивается высокая производительность; за один двойной ход обычно накатывается одна деталь (при усложнении инструмента может быть две), при этом скорость резания составляет 20…80 м/мин, а частота двойных ходов 40…500 мин$^{-1}$. Совместно с резьбой могут накатываться канавки или рифления, шлицы, зубья. Точность резьбы — 6...8-я степень. В приводе ползуна с подвижной плашкой применяют регулируемый двигатель и кривошипно-шатунный механизм. Заготовка загружается вдоль своей оси или в направлении движения ползуна, питание бункерное. Ползун может располагаться горизонтально, вертикально или наклонно, так же как и рабочие поверхности плашек.

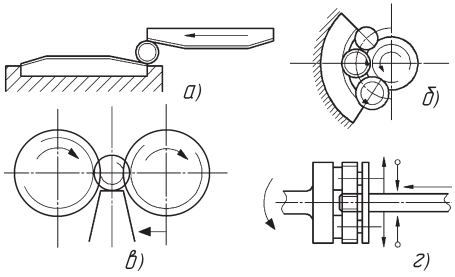


Рис. 8.3. Схемы накатывания: *а* — плоскими плашками; *б* — сегментом и роликом; *в* — двумя роликами с радиальным углублением; *г* — аксиальной головкой с раскрытием роликов

Накатывание с помощью сегмента (рис. 8.3, *б*) называют планетарным. Оно обеспечивает наиболее высокую производительность: 1…20 шт. за 1 оборот ролика, т. е. до 750 (а в некоторых случаях до 2000) шт./мин; при этом точность достигает 2-й степени. Накатывать можно крепежные детали диаметром до 25 мм. На рис. 8.4 барабан *11* (с лопат-

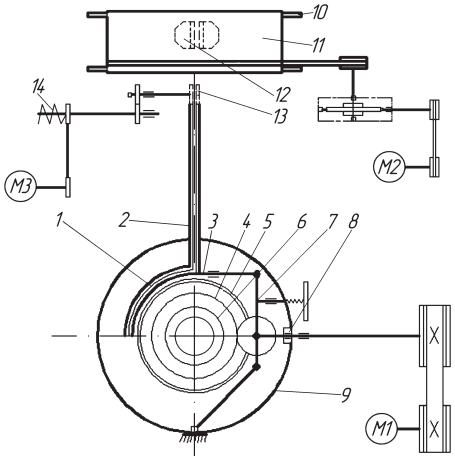


Рис. 8.4. Кинематическая схема резьбонакатного автомата с сегментом

ками) бункера вращается на катках *10* от двигателя *M2* с помощью червячного редуктора и ременных передач. Звездочка-отсекатель *13* поштучно пропускает заготовки из бункера в лоток *2*, сбрасывая лишние обратно (привод от двигателя *M3* через предохранительную муфту *14*). Пневмовибратор *12* облегчает перемещение заготовок по лотку. Шпиндель *6* с накатным роликом *5* и кулачком загрузки *4* вращается от двигателя *M1* через ременную передачу и конические колеса *8—9* с круговым зубом. Рычаг-ползушка *7* передает движение от кулачка к питателю *3*, который заталкивает очередную заготовку в сужающийся зазор между роликом *5* и сегментом *1*. Известны компоновки с вертикальной, наклонной или горизонтальной осями накатного ролика; последняя наиболее благоприятна для станка с двумя парами инструментов.

8.3. Станки для нарезания резьбы резцами и резьбонарезными головками

Резьботокарные станки. Станки предназначены для нарезания всевозможных, в том числе конических, резьб методом многопроходного точения в условиях крупносерийного и массового производства.

Технические характеристики полуавтомата мод. 1Б922:

Диаметр нарезаемой резьбы, мм, не более 200
Длина резьбы, мм, не более. 155
Шаг резьбы, мм . . . . . 1,5…6
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$. . . . . 75…1500

Станок мод. 1Б922 (рис. 8.5) снабжен также дополнительным гидрокопировальным суппортом *2—8* для предварительной токарной обработки в один или два прохода. Связь между движениями продольной каретки *6* и резцовых салазок *2* (или между их гидроцилиндрами *7* и *3*) обеспечивается поворотным (от цилиндра *8*) копиром *5* и датчиком *4*. Главная особенность станка — барабанный кулачок (копирный барабан) *29* вместо ходового винта, что обеспечивает повышение скорости резьбонарезания (особенно при большом числе заходов резьбы), оптимальный закон движения при реверсировании, а также деление на число заходов без дополнительного устройства (смешанное соединение кинематических групп формообразования и деления). При этом суппорт возвращается в исходное положение без реверсирования тягового устройства и всей цепи привода.

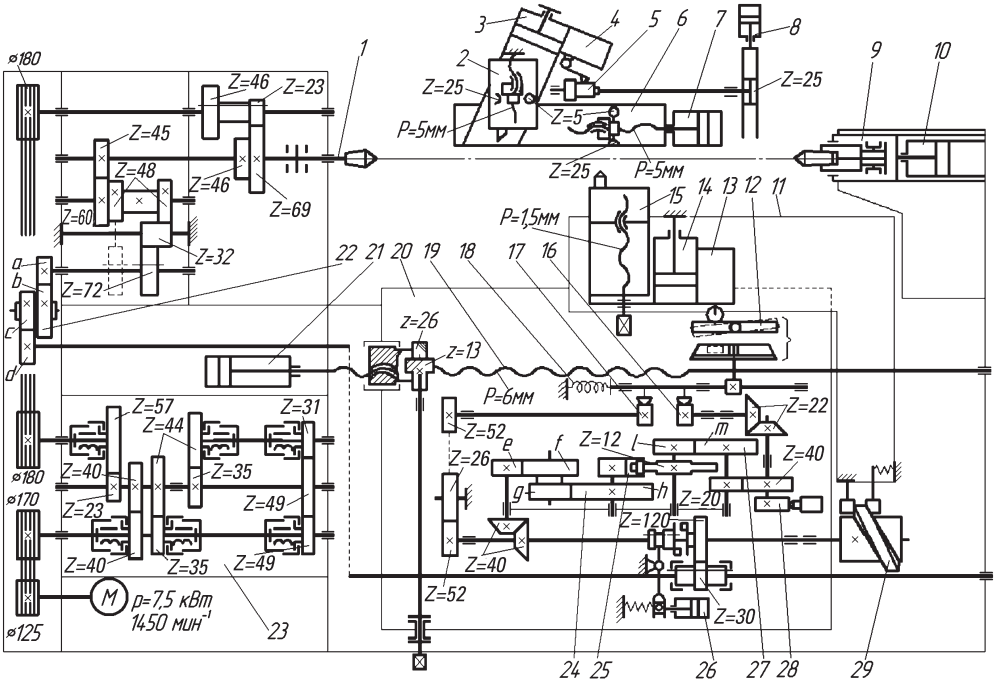


Рис. 8.5. Кинематическая схема резьботокарного полуавтомата мод. 1Б922

Однако при этом кулачок должен быть сменным в зависимости от шага *P* нарезаемой резьбы и ее длины, которая меньше шага кулачка; кроме того, шаг резьбы должен быть кратен шагу кулачка, иначе после одного оборота кулачка возникает рассогласование положения резца и витка резьбы. Для многозаходной резьбы с числом заходов *k* шаг кулачка не должен быть кратен ходу резьбы, иначе резец не сможет автоматически перейти из одного захода в другие. Шпиндель *1* получает вращение через коробку скоростей *23* и связан с барабанным кулачком *29* через гитару *22* подач и деления на число заходов.

Наиболее сложный узел станка — резьбонарезной суппорт. Продольная каретка *20* перемещается при наладке вращением гайки на винте *19*, а в цикле быстро подводится-отводится гидроцилиндром *21*. Продольные салазки *11* выполняют движение подачи от кулачка *29*. Поперечные салазки *15* по окончании рабочего хода резца выводят его из резьбы (действует кулачок *17*), а после возврата резца к началу резьбы подают его для углубления профиля (действует кулачок *16*). Кулачки независимо поворачивают (преодолевая спиральную пружину *18*) общий рычаг, верхнее плечо которого завершается линейкой *12*. Последняя воздействует на следящий золотник *13*, управляющий гидроцилиндром *14*, что разгружает цепь поперечной подачи от усилия резания. При нарезании конических резьб линейку *12* устанавливают под углом к продольному направлению, и она служит копиром. Кулачок *16* — сменный и поворачивается после каждого прохода резца по всем заходам резьбы от цевочного механизма *25*. Так как гитара *24* (учитывает число заходов при углублении профиля) настраивается по выра-

жению $e/f \cdot g/h = 1/k$, то ведущий вал цевочного механизма сделает один оборот за k оборотов барабана, т.е. резец углубляется каждый раз после прохождения по всем заходам. Число проходов $K_{пр}$ может быть от 3 до 64 и обеспечивается гитарой *27*, для которой уравнение кинематического баланса имеет вид

$$1 \text{ оборот барабана} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h} \cdot \frac{1}{12} \cdot \frac{l}{m} \cdot \frac{20}{40} \cdot \frac{22}{22} = \frac{1}{K_{пр}}.$$

По завершении всех проходов кулачок *28* дает команду об окончании цикла резьбонарезания. Включение суппорта обеспечивает цилиндр *26*. Пиноль *9* задней бабки перемещается цилиндром *10*.

Станки, работающие резьбонарезными головками. Станки этого типа предназначены для нарезания вращающимися головками наружной цилиндрической резьбы на болтах, валах и особенно на деталях, которые неудобно вращать (например, длинные трубы). Точность нарезанной резьбы — 5…8-я степень. Высокая производительность достигается за счет однопроходной (как правило) обработки, автоматизации цикла, в том числе раскрытия головки перед обратным ходом.

Технические характеристики полуавтомата мод. 5991:

Диаметр нарезаемой резьбы, мм, не более 16
Длина резьбы, мм, не более..... 125
Шаг резьбы, мм ..... 0,7...2
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$..... 90...500

Станки имеют горизонтальную компоновку. Шпиндельная бабка *1* (рис. 8.6) с коробкой скоростей сообщает вращательное главное движение резьбонарезной головке *2*. Заготовка, зажатая в призмах механизма *4* (вид *А*—*А*), получает продольное движение от каретки *5* с гидроцилиндром *9*. Исходное положение заготовки по длине перед зажимом зависит от установки упора *3* вместе со штангой относительно каретки. При ускоренном подводе заготовки к головке *2* каретка *5* своим упором воздействует на упор *6* штанги и перемещает ее вместе с упором *3*. При этом винтовой паз *7* на штанге обеспечивает ее поворот, т.е. отвод упора *3* в сторону от заготовки. Кулачок *8*, нажимая на конечный выключатель, включает рабочую подачу. После нарезания резьбы кронштейн *20* каретки доходит до упора *21* на штанге *22* и перемещает ее, поворачивая рычаг *23*. Через шарнирное соединение поворачивается рычаг-вилка *25*, и головка *2* раскрывается — гребенки отходят от резьбы. В конце хода каретки и штанги *22* упор *11* перемещает толкатель *12*, который поворачивает рычаг *17* с фиксатором, освобождая сектор *18*. Тот под действием пружины нажимает конечный выключатель *19* — каретка реверсируется, заготовка возвращается в исходное положение. В конце обратного хода кронштейном *20* перемещается упор *16* вместе со штангой *22* — головка *2* закрывается, а упором *15* возвращается толкатель *12*. В то же время подводится упор *3*. Автоматическая часть цикла завершается воздействием упора *10* на конечный выключатель и остановкой каретки.

Благодаря управлению циклом одной рукояткой *14* облегчается наладка и

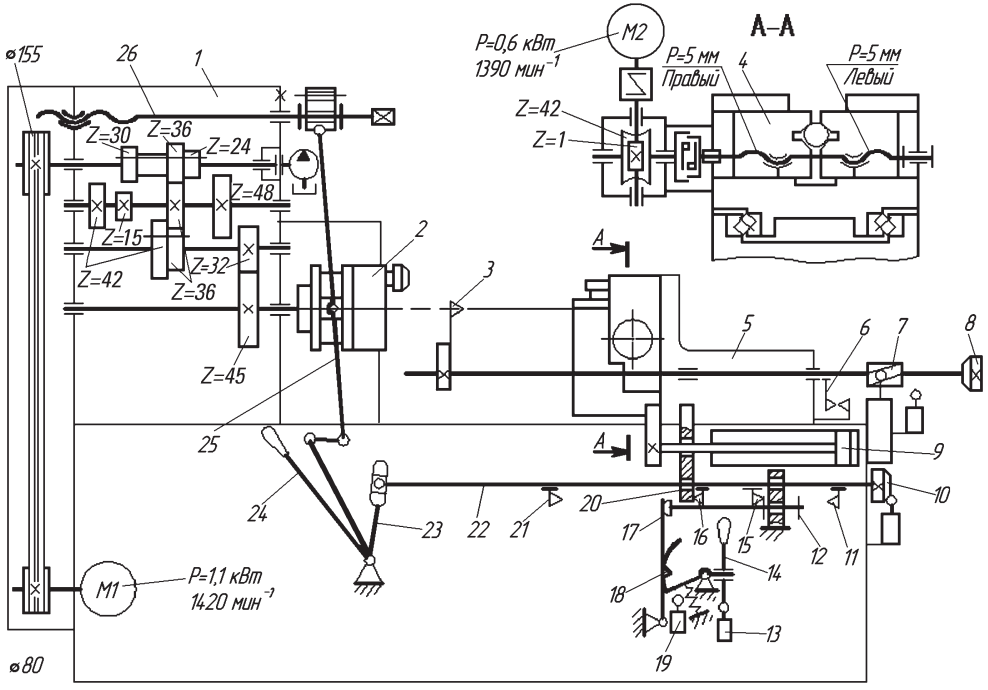


Рис. 8.6. Кинематическая схема резьбонарезного полуавтомата мод. 5991

повышается производительность. При повороте в одной плоскости рукоятка *14* через сектор *18* взаимодействует с конечным выключателем *19*, включая перемещение каретки влево или вправо; в другой плоскости она взаимодействует с конечным выключателем *13*, давая команду на зажим или разжим заготовки. Рукоятка *24* связана с рычагом *23* раскрытия-закрытия головки. Винт *26* обеспечивает смену гребенок без отсоединения головки от механизма раскрытия.

Степень автоматизации резьбонарезных станков различна: от более дешевых модификаций с ручным управлением и приводом маховичками (для каретки и зажима) до автоматов с магазином, тип которого зависит от формы заготовок (с лотком, цепные или иные). Все станки оснащают приспособлением для заточки плоских гребенок на заточном станке, а некоторые — отрезным суппортом, расположенным на каретке, или поворотным устройством для нарезания резьбы на обоих концах заготовки.

Известны многошпиндельные резьбонарезные станки, например, двухсторонние с постоянным или настраиваемым расстоянием между шпиндельными головками. На базе резьбонарезных выпускают резьбонакатные станки или станки, предназначенные для обтачивания заготовок вращающейся головкой, для одновременной обработки торца вала, центрования и т.п.

8.4. Станки для нарезания резьбы метчиками

Вертикальные резьбонарезные станки. Для резьбонарезных станков, работающих машинными метчиками, отверстие должно быть заранее получено на другом станке либо при изготовлении заготовки (точным литьем и т.п.). Гайконарезные станки, работающие машинными метчиками, имеют разнообразную компоновку. Станки, нарезающие резьбу не только в гайках, но и в других деталях, в том числе корпусных, — вертикальные, что удобно для установки любых заготовок. Так как осевое усилие при нарезании метчиками на порядок меньше, чем при сверлении, то оказывается возможной компоновка резьбонарезной головки на круглой колонне небольшого диаметра (порядка 100 мм). При этом установочное перемещение по высоте сообщается колонне приводом *8* (рис. 8.7).

Точность повышают введением сменной копирной пары винт—гайка *3*, которая осуществляет подачу, исключая самозатягивание. При этом осевое усилие не передается на деталь, что важно, например, для обработки легких сплавов. В нижней опоре шпинделя *1*, несмотря на малые нагрузки, устанавливают второй радиальный подшипник, чтобы создать предварительный натяг. В результате достигается 5-я, а на некоторых станках даже 2-я степень точности резьбы.

Частоту вращения при вывертывании метчика повышают в 1,5…3 раза. Поскольку число циклов в единицу времени увеличивается, то реверсируют вращение инструмента переключением не электродвигателя, а муфт *6* и *7*; кроме того, для сокращения цикла реверсирования предусмотрен отдельный тормоз *2*. В результате этого на станке мод. 2Р056 наибольшее число циклов достигает 25 цикл/мин.

Ввиду возможности заедания метчика предусмотрены настраиваемые предохранительные устройства в приводах главного движения (муфта *5*) и подачи (в данном примере функцию предохранения выполняют пневмоцилиндры *4*, которые служат также для быстрого отвода и подвода метчика). При перегрузке по крутящему моменту срабатывание муфты *5* сопровождается командой на реверсирование шпинделя. Несколько оборотов обратного вращения вызывает дробление стружки, после чего возобновляется процесс нарезания резьбы (при повторном сигнале о перегрузке станок выключается). Выпускают также станки с постоянной парой винт—гайка, но с гитарой сменных колес между шпинделем и винтом.

Гайконарезные станки. Резьбу повышенной точности в гайках или глухую коническую резьбу нарезают машинными метчиками на резьбонарезных (см. выше) или гайконарезных станках. На рис. 8.8 показана кинематическая схема двухшпиндельного автомата. Для двух секций, ведущих обработку, общими являются начальная часть привода (от двигателя *M* до валов *I* и *II*) и бункер *7*. Шпиндель вращает патрон *12* и метчик *1* с Г-образным изогнутым хвостовиком. Гайки, пройдя его рабочую часть, нанизываются на хвостовик, продвигаются по нему, а затем сбрасываются. Не требуется зажим метчика, непрерывный цикл обработки и снятия деталей упрощает автоматизацию, повышает производительность. Сменная плита *8* двигается возвратно-поступательно от кривошипно-шатунного механизма *10*, ворошит заготовки в бункере, ориентирует их и пропускает по

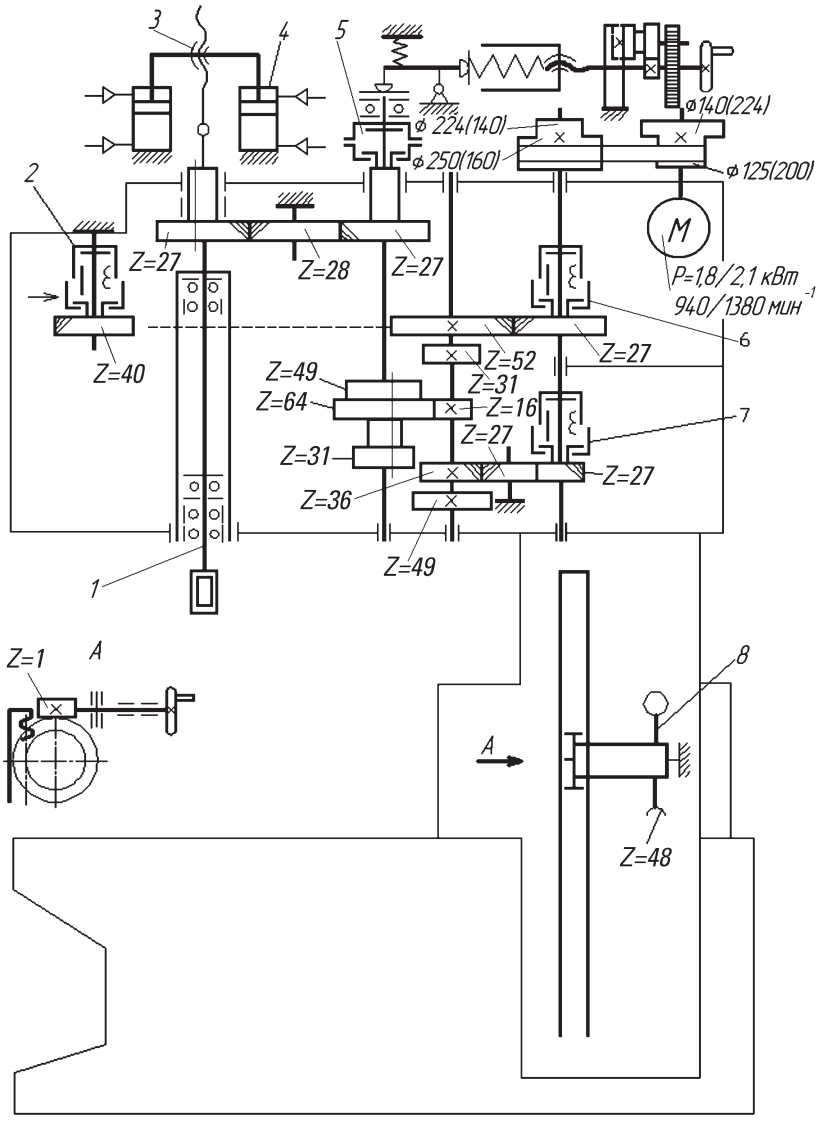


Рис. 8.7. Кинематическая схема резьбонарезного полуавтомата мод. 2Р056

лоткам на позицию перед метчиком. Кулачок *4* отводит ползун *5* с толкателем *6*, проскакивает дальше, а они под действием пружины *3* двигаются к метчику, насаживая на него очередную заготовку.

Направляющее устройство в виде призм *11* удерживает заготовку от поворота. В зависимости от соотношения силы пружины *3* и силы трения между заготовкой и призмами в начальный период резания (при большом крутящем моменте) заготовка неподвижна, метчик двигается вдоль оси, затем к концу нарезания резьбы момент и сила трения уменьшаются и толкатель перемещает заготовку. Предохранительные устройства *2* и *9* срабатывают при чрезмерных

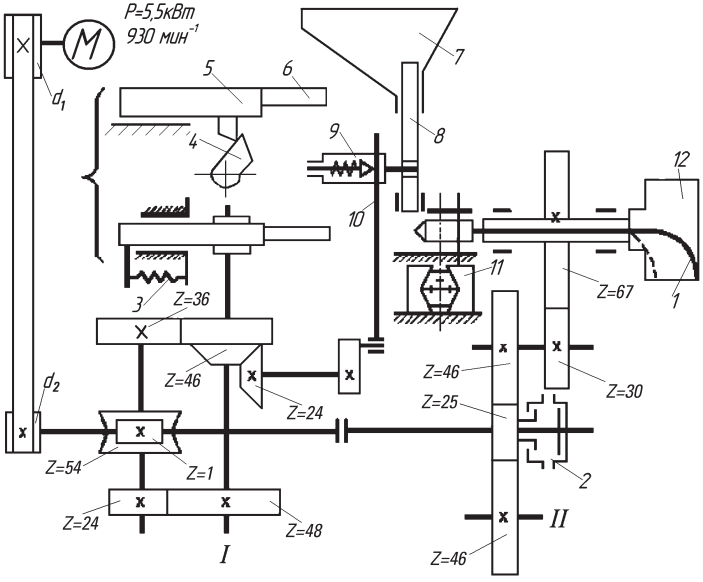


Рис. 8.8. Кинематическая схема одной секции гайконарезного автомата мод. 2064

силах (затупление метчика, заклинивание заготовки). Разнообразие конструкций гайконарезных станков связано с различным базированием заготовок гаек и распределением вращательного и поступательного движений между метчиком и заготовкой.

8.5. Резьбофрезерные станки

Наиболее универсальные резьбофрезерные станки работают дисковыми и гребенчатыми фрезами. Заготовки могут закрепляться как в центрах, так и в патроне. Тяговым устройством служит длинный ходовой винт с гайкой.

Резьбофрезерный патронный полуавтомат мод. 5Д63 предназначен для нарезания гребенчатыми фрезами коротких наружных и внутренних резьб в условиях серийного и крупносерийного производства.

Техническая характеристика станка приведена ниже.

Диаметр нарезаемой резьбы, мм, не более 100
Длина резьбы, мм. 50
Шаг резьбы, мм 5
Частота вращения шпинделей, мин$^{-1}$:
инструментального. . . . . 160…2500
с заготовкой. . . . . 0,315…16
Точность резьбы . . . . . .6-я степень

Кинематическая схема станка приведена на рис. 8.9. Привод главного движения осуществляется от двигателя *М1* через гитару скорости резания *3* и находится во фрезерной головке. Маховик *5* сглаживает неравномерность вращения шпинделя *6*. Привод круговой подачи заготовки — от двигателя *М2* через гитару

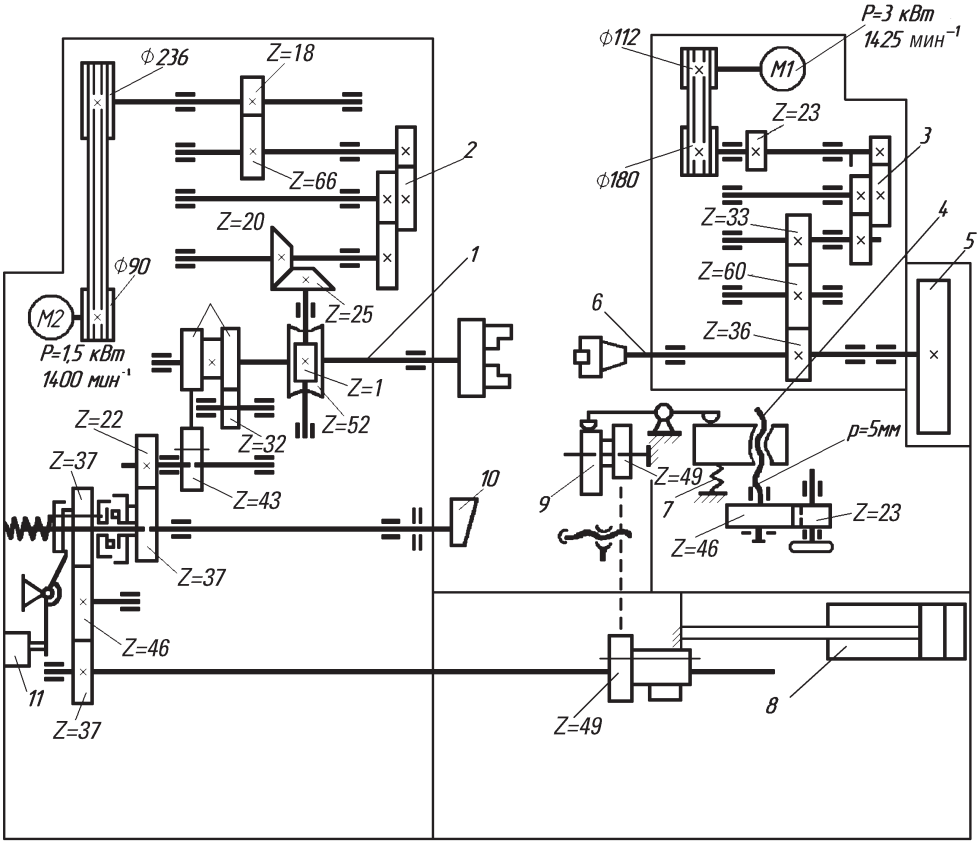


Рис. 8.9. Кинематическая схема резьбофрезерного полуавтомата мод. 5Д63

сменных колес *2* до шпинделя *1* — находится в бабке изделия. Винторезная цепь согласует вращение заготовки (шпинделя *1*) и осевое движение фрезерной головки, расположенной на каретке, от торцового кулачка (копира) *10*. Синхронно с копиром *10* вращается дисковый кулачок *9*, который, преодолевая пружину *7*, обеспечивает врезание фрезы в поперечном направлении. Установочные перемещения фрезерной головки возможны в поперечном направлении винтом *4* с $P = 5$ мм, а в продольном — гидроцилиндром *8*. За цикл работы кулачки *9* и *10* совершают один оборот и останавливаются при выключении муфты электромагнитом *11*. Заготовка же поворачивается на 1,3 оборота, причем 0,3 оборота занимают врезание и вывод фрезы из резьбы.

Конструкция каретки (рис. 8.10). Каретка состоит из одноименного корпуса *7* и поперечных салазок *4*. Продольное движение осуществляется по средней призматической и крайним плоским замкнутым направляющим. Поперечные салазки перемещаются по комбинированным направляющим: левая имеет форму половины «ласточкина хвоста», правая — широкая прямоугольная. В средней части салазок предусмотрена дополнительная направляющая в форме «ласточкина хвоста» малого размера; она охватывается корпусом *10* поперечной гайки

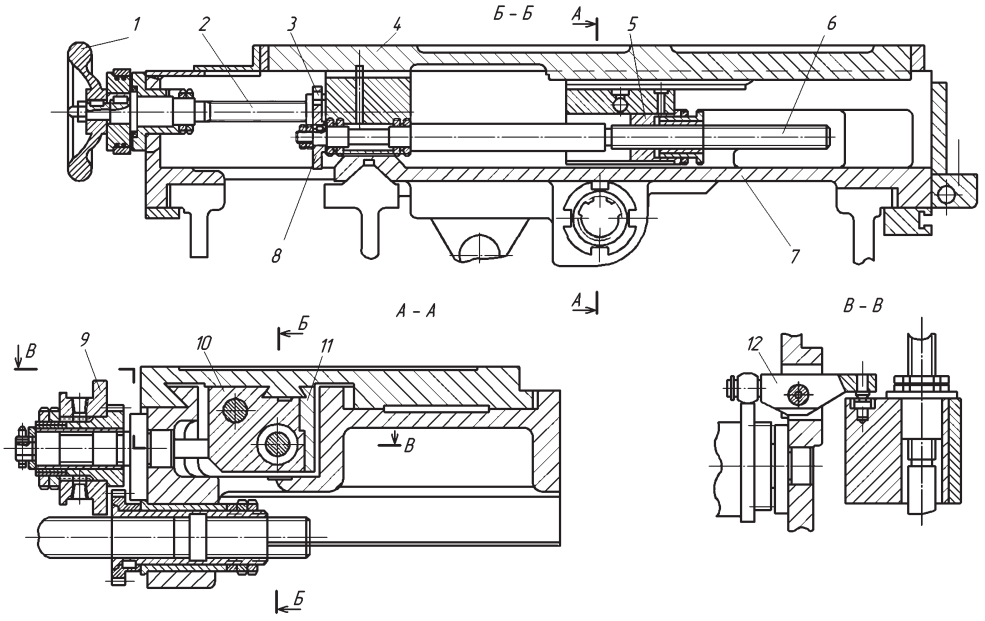


Рис. 8.10. Каретка резьбофрезерного станка

5 и зажимной планкой *11*. При зажатой планке *11* гайка *5* соединена с салазками, как и опора поперечного винта *6*. Кулачок врезания *9* при вращении толкает через рычаг *12* корпус *10* гайки *5* вместе с салазками *7* и винтом *6*. Происходит врезание или отвод фрезы. При наладке отжимают планку *11*, разъединяя гайку и салазки, и маховичком *1* через шлицевый вал *2*, зубчатые колеса *3* и *8* вращают винт *6*, осуществляя поперечное установочное перемещение салазок.

8.6. Резьбошлифовальные станки

Резьбошлифовальные станки являются одними из самых сложных и точных станков. Это обусловлено разнообразием деталей, при изготовлении которых они используются: винты и червяки, метчики и фрезы, рейки и резьбовые кольца и т.д. Точность этих станков определяет качество деталей наиболее ответственных механизмов (например, делительных червячных передач, передач винт—гайка), качество режущего и измерительного инструмента.

Классификация станков связана, прежде всего, с их назначением, с особенностями формы изделий. Обрабатывать можно резьбу, зубья метчиков и фрез, зубья реек. Резьба может быть наружной и внутренней, цилиндрической и конической, мелкой (на шпинделях) и крупной (на червяках), с метрическим, трапецеидальным, полукруглым и другими профилями, малой длины (у калибров) и большой (у ходовых винтов), с разным числом заходов. Режущие зубья располагаются по окружности или по винтовой линии, должны быть затылованными, разделены прямыми или винтовыми стружечными канавками. Рейки бывают плоскими или круглыми с кольцевыми зубьями. Шлифование ведут одно- или многониточным кругом.

ГОСТ 6728—91 на основные размеры предусматривает ряд диаметров D устанавливаемого изделия в пределах от 80 до 320 мм. Самым распространенным является средний размер станка для обработки заготовок диаметром до 200 мм и длиной до 500 мм. Подавляющую часть универсальных резьбошлифовальных станков выпускают по классу точности *В*, для которого ГОСТ 8716—81 устанавливает допуски по точности и жесткости. Для станка с $D = 200$ мм указаны следующие допустимые погрешности: подъема винтовой линии (периодическая погрешность шага) 3 мкм, половины угла профиля 5 мин.

Представителем универсальных резьбошлифовальных станков является станок мод. 5К822В. На рис. 8.11 показана кинематическая схема одной из модификаций этого станка, компоновка которого аналогична компоновкам круглошлифовальных станков. Передняя бабка со шпинделем *3* и задняя бабка *15* вместе со столом получают продольное движение, а шлифовальная бабка *16* сообщает поперечное перемещение шлифовальному шпинделю *17* от двигателя *М6*. Устройство правки с алмазами *14* расположено сверху. Движения круговой, продольной и поперечной подач осуществляются от двигателя *М1*. Винторезная цепь связывает через гитару сменных колес *31* шпиндель *3* с ходовым винтом *26*, закрепленным на столе, ходовая гайка связана со станиной. Механизм *4* регулирования зазора в этой цепи обеспечивает шлифование при обратном ходе стола. Датчик *5* вращения шпинделя используют при врезном шлифовании.

В устройстве деления на число заходов во время шлифования движение передается с одного центрального колеса $Z = 30$ дифференциала на другое центральное колесо $Z = 30$ и далее на винторезную гитару *31*; водило *32* удерживается от поворота делительным диском *34* и фиксатором *35*. При делении электромагнит *37* выдергивает фиксатор *35* из паза диска *34*. Из-за тормоза *33* движение с выходного вала передней бабки начинает передаваться на водило *32*, свободно вращающееся вместе с диском *34*, при этом шпиндель с заготовкой продолжает вращаться, стол останавливается — происходит деление. При выключенном электромагните *37* однопазовый диск *34* завершает один оборот и фиксируется. От настройки гитары деления *36* зависит угол поворота заготовки. Коррекционный винт *28*, поворачиваясь от линейки *27* (ее наклоняют рукояткой *2*), смещается вдоль оси вместе с ходовой гайкой, ходовым винтом и столом. Рукоятка *29* поворачивает ходовую гайку для смещения стола при введении круга во впадину резьбы.

Комплекс механизмов обеспечивает разнообразные поперечные перемещения шлифовальной бабки: установочное движение от маховика *21* или двигателя *М8* (вращается винт *18*), быстрый отвод-подвод от двигателя *М9* (кулачок через рычаг толкает систему из двух последовательных передач винт—гайка), поперечную подачу для шлифования конической резьбы от копира *20* на столе (вращается и перемещается винт *23*), движение затылования или поперечное врезание от кулачка *25* (продольное перемещение толкателя ползушки преобразуется в поперечное перемещение за счет клиновой линейки *22*; механизмом *24* регулируют величину затылования — угол наклона линейки *22*; гитара затылования *30* учитывает число стружечных канавок и их наклон), компенсацию уменьшения диаметра круга при правке, чтобы сохранить контакт со шлифуемой поверхностью — от двигателя *М7* (через кривошипно-кулисный и храповой

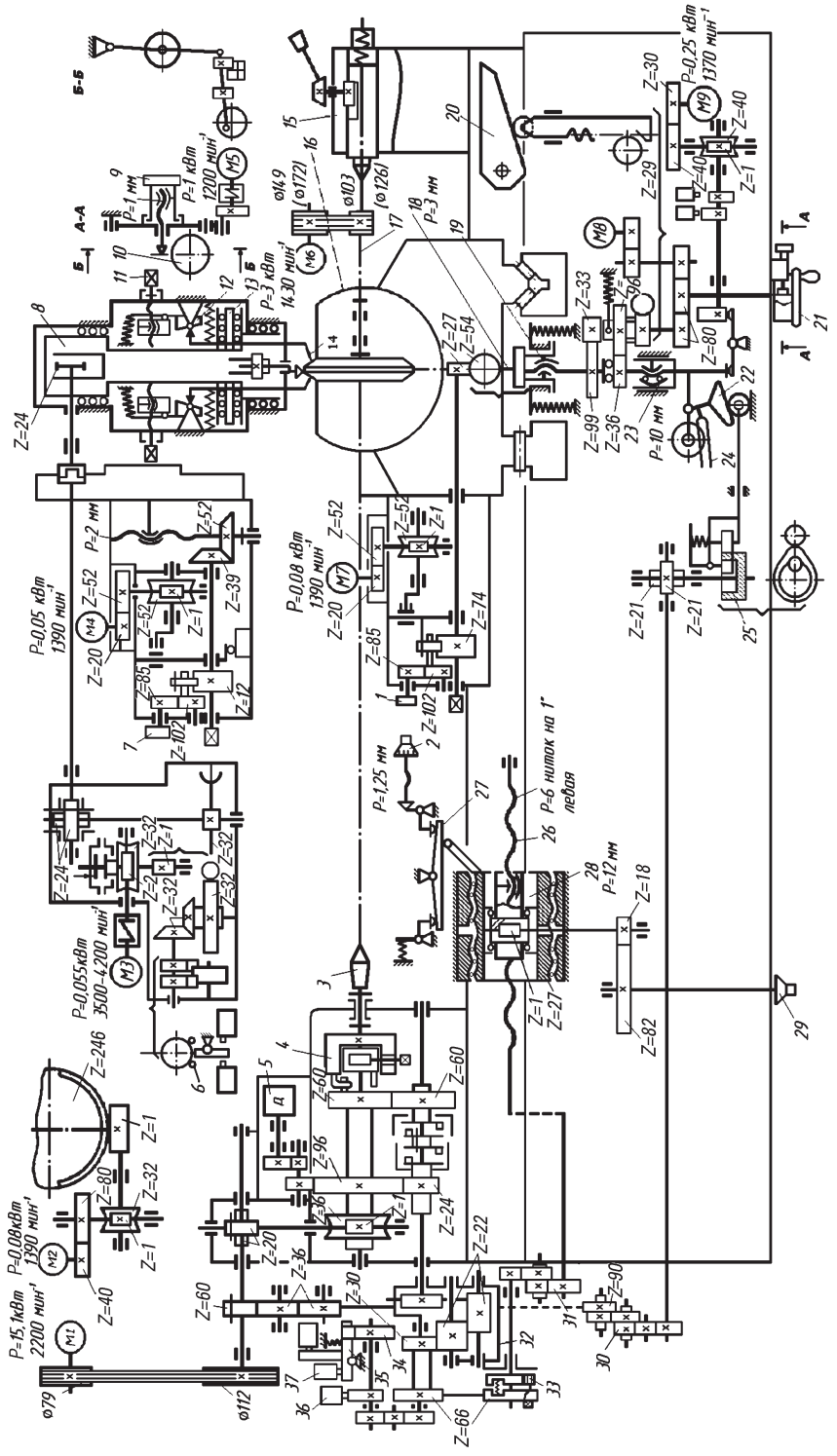


Рис. 8.11. Кинематическая схема универсального резьбошлифовального станка

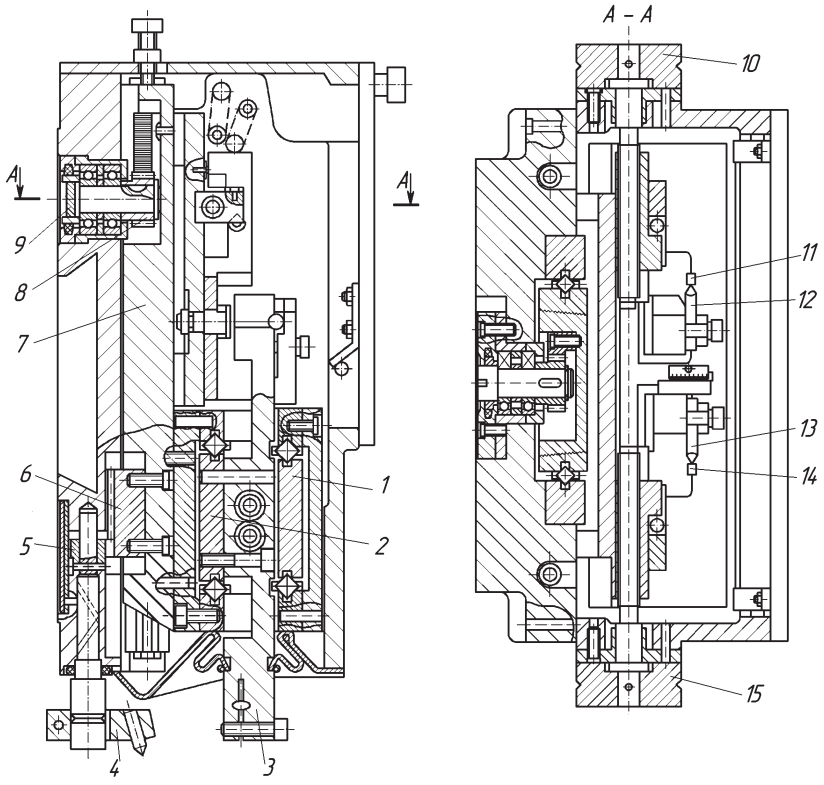


Рис. 8.12. Устройство для правки:
1 и *2* — поперечные ползушки; *3* — державка бокового (профильного) алмаза; *4* — держатель среднего алмаза; *5* и *6* — косозубые колесо и рейка привода среднего (периферийного) алмаза; *7* — продольная каретка; *8* — реечная передача; *9* — вал привода; *10* и *15* — рукоятки регулирования угла наклона копиров *11* и *14*; *12* и *13* — щупы поперечных ползушек

механизмы вращается и перемещается гайка *19*; рукояткой *1* регулируют положение щитка храпового механизма). Рукояткой *9* регулируют положение упора *10* на лимбе поперечной подачи, двигатель *М5* отводит механизм регулирования. Для настройки на угол подъема шлифуемой резьбы шлифовальная бабка *16* разделена на барабан и салазки с седловидной расточкой под него. Барабан поворачивают двигателем *М2*.

Третья группа механизмов обеспечивает правку круга. Реечное колесо $Z = 24$, получая вращение от двигателя *М3*, перемещает продольную каретку *8* по одной координате (ход зависит от упоров *6*) вместе с поперечными ползушками *13* и закрепленными в них боковыми алмазами *14*. При этом щуп, связанный с поперечной ползушкой, скользит по копиру *12*, перемещая ползушку с алмазом по другой координате; рукояткой *11* устанавливают угол шлифуемого профиля (наклон копира). Средний алмаз правит периферию круга, поворачиваясь от колеса, сцепленного с косозубой рейкой. Привод с двигателем *М4* перемещает правящее устройство для углубления алмазов (рукоятки *7* и *1* аналогичны).

Конструкции характерных узлов показаны на рис. 8.12 и 8.13.

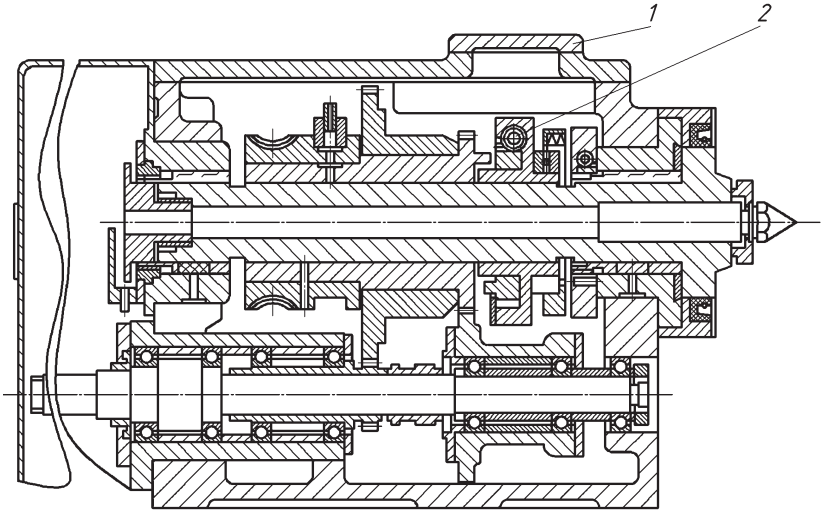


Рис. 8.13. Передняя бабка:
1 — крышка; *2* — устройство компенсации зазора в цепи

Внутрирезьбошлифовальный станок (рис. 8. 14, *в*). Шпиндель *33* бабки изделия получает вращение от двигателя *М1* через устройство *30* регулирования зазора в цепи, а ходовой винт *22* — через звено увеличения шага, переключаемое рейкой *25*, механизм деления *28—29* и винторезную гитару *26*. Деление включается электромагнитом *31*: с помощью муфты *32*, кулачка *23*, штанги *27* выдергивается фиксатор *28* — стол останавливается. Делительный диск *29* рассчитан на разные числа заходов, и протяженность сменного кулачка *23* обеспечивает удержание фиксатора, пока он не дойдет до нужного паза. Микропереключатель *24* выключает электромагнит *31*. Наклоненная линейка *21* через винт *20* корректирует движение стола. Ходовую гайку *19* можно поворачивать через червячную передачу, смещая стол при попадании кругом в нитку резьбы. Копир *18*, закрепленный на столе, через клиновую линейку *17* перемещает винтовые пары *14—13*, *9—10* вместе со шлифовальной бабкой при обработке конической резьбы. Кроме того, бабку можно двигать маховичком *16* (вращается гайка *14*), рейкой *12* (вращается винт *13* для быстрого отвода от заготовки), гидроцилиндром *8* при отводе для правки или загрузки (до упора *6*, преодолевая сначала груз *7*, пока он не дойдет до упора, а потом больший груз *15*), плунжером-рейкой *4* (вращается винт *9* для дозированного углубления при правке). Гидротормозы *5* и *11* смягчают останов.

Шлифовальный шпиндель *1* при обработке получает вращение от двигателя *М2*, а при правке накатыванием — от двигателя *М3* через редуктор *3*. Расположение правящих устройств на станине (кронштейн *2*) исключает необходимость устройства, компенсирующего уменьшение диаметра круга. Правящие устройства различны для трапецеидального и радиусного профилей (рис. 8.14, *а, б*). В обоих случаях алмазы перемещают по дуге с помощью гидроцилиндров *34* и *35*. При соединении щупа *40* с колонкой *37* винтом *39* рычаг *38* со щупом и ал-

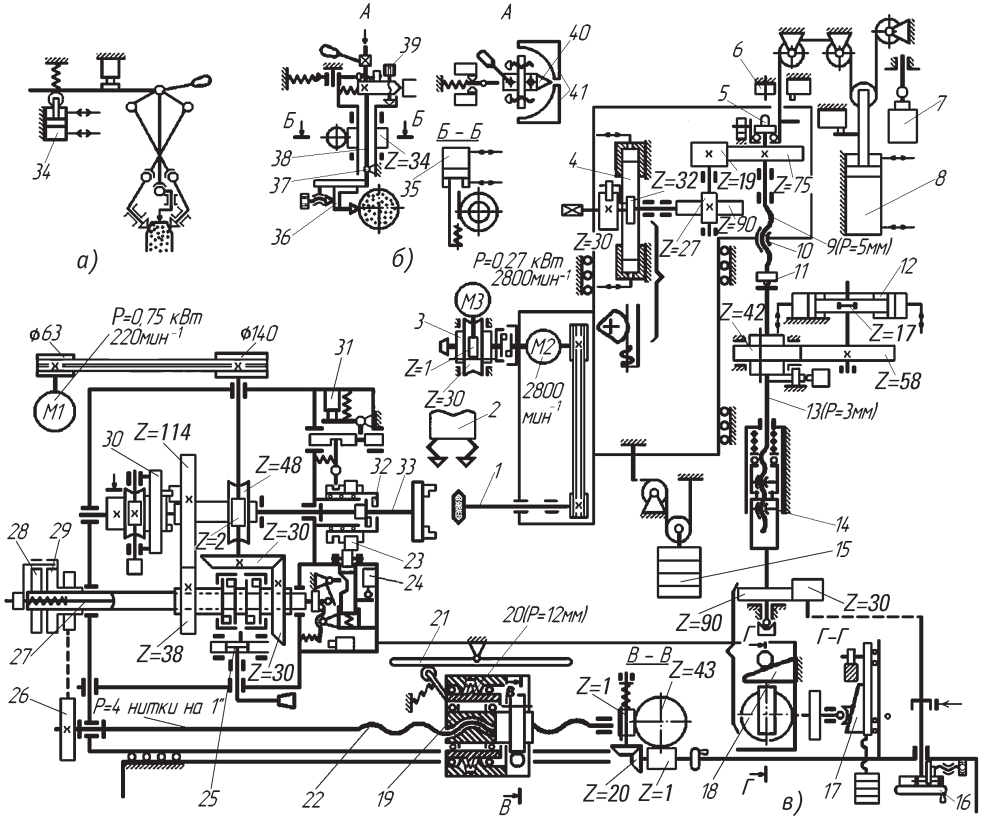


Рис. 8.14. Кинематическая схема внутрирезьбошлифовального станка

мазом вращается вместе с колонкой как одно целое независимо от копиров *41* — получается полукруглый профиль (ползушку *36* смещают при настройке радиуса); при отпущенном винте *39* пружина прижимает щуп к копирам, наклоняя рычаг *38* с алмазом по мере поворота колонки — получается арочный профиль.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Протяжные станки

9.1. Общие сведения

Протягивание является одним из наиболее производительных методов обработки, успешно конкурирующим с такими методами, как фрезерование, долбление, строгание, зенкерование, развертывание, точение и растачивание. Отличительными особенностями процесса протягивания является обработка многолезвийным режущим инструментом (рис. 9.1), совмещение чернового и чистового резания, отсутствие подачи как отдельного движения механизмов станка (подача заложена в конструкцию протяжки в виде подачи на зуб). Преимущество протягивания перед другими способами механической обработки заключается в том, что протягивание обеспечивает высокую точность и качество обрабатываемой поверхности, а также высокую производительность. Протяжные станки требуют небольшой производственной площади, просты в конструкции и обслуживании, легко поддаются автоматизации и встраиваются в автоматические линии. Основным недостатком протягивания являются высокая стоимость и сложность изготовления инструмента — протяжек, обладающих к тому же невысокой стойкостью. Наибольшее распространение протяжные станки получили в автотракторном, сельскохозяйственном, транспортном, энергетическом и подъемно-транспортном машиностроении.

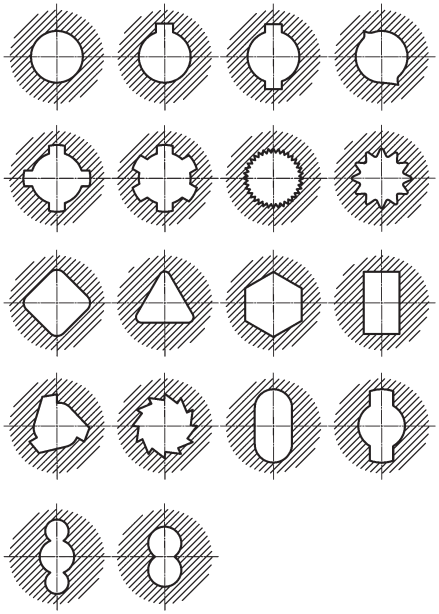


Рис. 9.1. Поверхности, обрабатываемые протягиванием

Разработка и производство протяжных станков развиваются по двум основным направлениям: создание универсальных станков с широкими технологическими возможностями для мелкосерийного и индивидуального производства; создание специальных станков, автоматов и полуавтоматов с механизированными и автоматическими наладками для крупносерийного производства.

По компоновочному решению протяжные станки подразделяются на горизонтальные и вертикальные, по назначению — для внутреннего и наружного протягивания. Среди станков для наружного протягивания как отдельную группу можно выделить протяжные станки непрерывного действия, компоновка которых имеет самые различные варианты.

Основные параметры протяжных станков приведены ниже.

Тяговое усилие, кН. . . . . 10...2000
Длина рабочего хода, мм . . . . . .630...6000
Длина инструмента, мм, не более . . . . . 400...11 000
Скорость резания, м/мин. . . . . .1...50
Производительность, шт./ч
на станках возвратно-поступательного действия . . .50...400
на станках непрерывного действия 3000

Характеристики основных типов протяжных станков представлены в табл. 9.1.

9.1. Технические характеристики протяжных станков

Назначение и тип станка	Модель станка	Тяговая сила, кН	Скорость рабочего хода, м/мин	Длина рабочего хода, мм	Мощность главного привода, кВт
Горизонтальный общего назначения	7535	250	1,5…13,0	2000	37
Горизонтальный для наружного протягивания с боковым расположением ползуна	МП2-940	100	1,5…30,0	3000	30
Вертикальный общего назначения для внутреннего протягивания	7635-001	160	1,5…13,0	2000	22
Вертикальный общего назначения для наружного протягивания	7736-011	160	5,0…25,0	2500	60
Вертикальный сдвоенный для наружного протягивания	7784	250	13	1600	37
Вертикальный повышенной точности для наружного протягивания	МП5-1020	100	1,0…36,0	1250	37
Вертикальный специальный повышенной точности для наружного протягивания	МП7-1490	25	22,0…55,0	670	22
Непрерывного действия	—	100	3,0…12,0	—	10…22

Большинство протяжных станков имеют нормальную точность, что позволяет получать отверстия и размеры протянутых поверхностей по квалитету 7…9.

9.2. Горизонтально-протяжные станки для внутреннего протягивания

Методом внутреннего протягивания обрабатываются (рис. 9.2) цилиндрические и многогранные отверстия, шпоночные канавки, шлицевые соединения, прямые и винтовые канавки, зубья колес с внутренним зубом и т. д.

Горизонтально-протяжные станки для внутреннего протягивания в своем большинстве являются универсальными: они пригодны как для мелкосерийного, так и для среднесерийного производства, их конструкция приспособлена для быстрой переналадки на изготовление новых деталей. Станки этого типа с помощью несложных приспособлений можно использовать для наружного протягивания. Типичный горизонтально-протяжной полуавтомат для внутреннего протягивания (рис. 9.2) состоит из основной станины *1* с опорной плитой *10*, рабочим гидроцилиндром *13*, перемещающим рабочие салазки с рабочим патроном. К основной станине присоединена приставная станина *5* со вспомога-

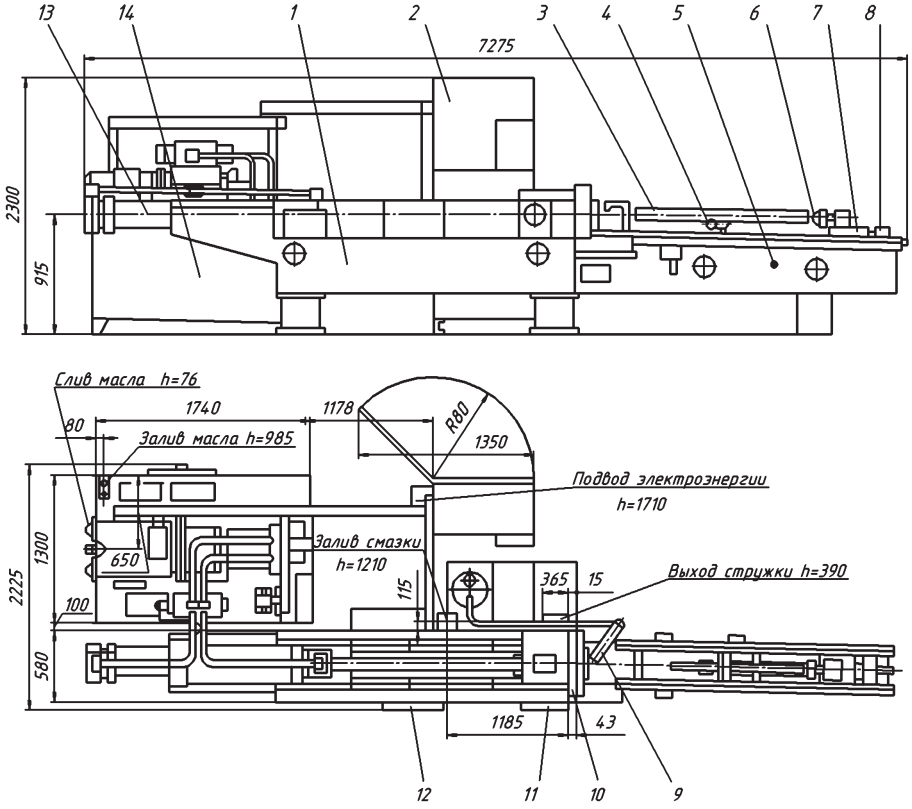


Рис. 9.2. Горизонтально-протяжной полуавтомат для наружного протягивания: *1* — станина; *2* — электрический шкаф; *3* — протяжка; *4* — поддерживающий ролик; *5* — приставная станина; *6* — вспомогательный патрон; *7* — вспомогательные салазки; *8* — механизм фиксации; *9* — устройство подачи СОЖ; *10* — опорная плита; *11* — пульт управления; *12* — механизм настройки длины хода рабочих салазок; *13* — рабочий гидроцилиндр; *14* — гидропривод

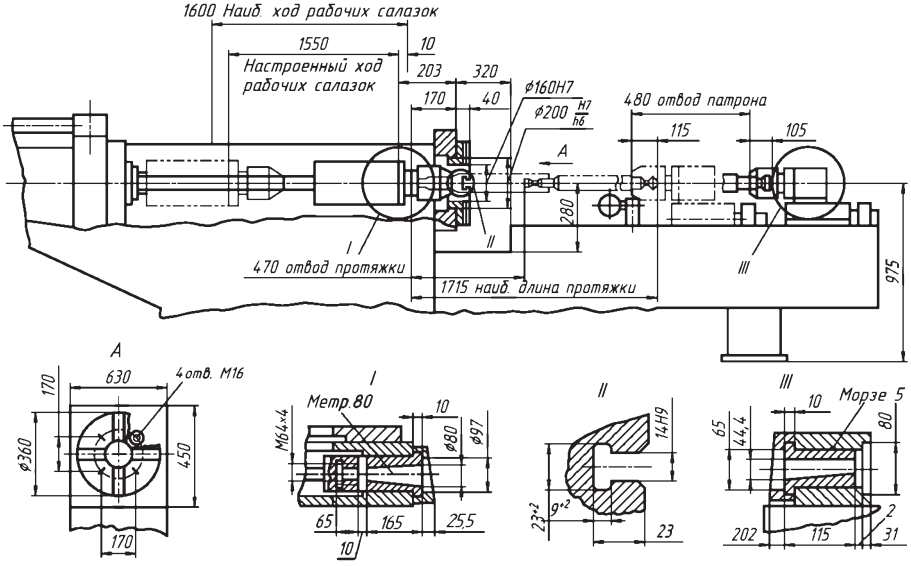


Рис. 9.3. Схема наладки и присоединительные размеры горизонтально-протяжного полуавтомата

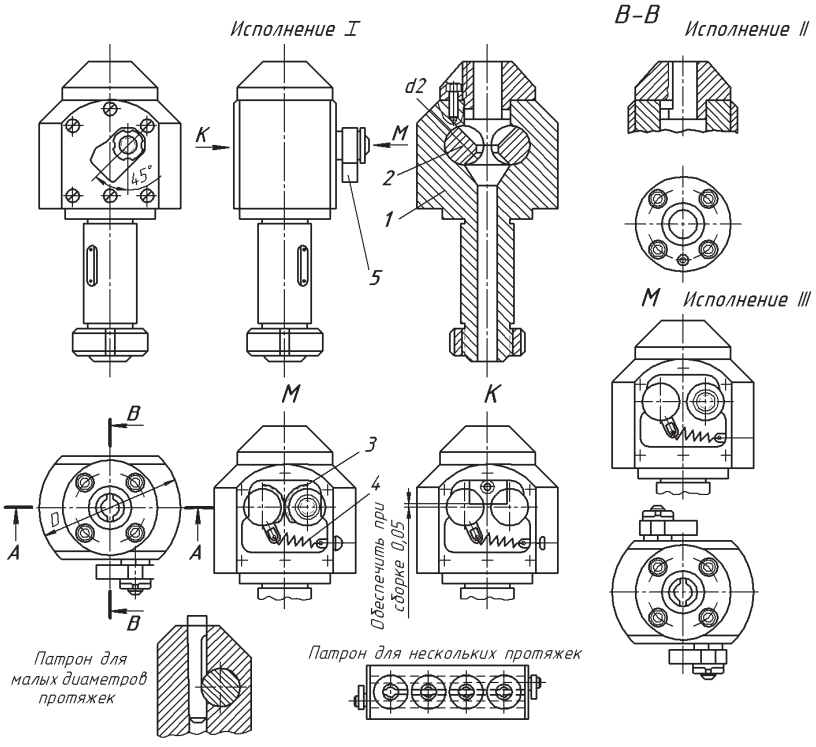


Рис. 9.4. Рабочий патрон

тельными салазками *7*, вспомогательным патроном *6*, механизмом фиксации *8* и вспомогательным поддерживающим роликом *4*, на который опирается протяжка *3*. Гидравлический привод станка *14* состоит из бака, насоса, электродвигателя, контрольно-регулирующей и распределительной гидроаппаратуры.

Присоединительные размеры горизонтально-протяжного полуавтомата показаны на рис. 9.3. Одним из наиболее ответственных узлов горизонтально-протяжного станка является рабочий патрон, который обеспечивает захват переднего хвостовика протяжки при резании. Станки этой группы комплектуются рабочими патронами под протяжки с круглыми хвостовиками и рабочим патроном для плоских хвостовиков.

Существует достаточно много вариантов конструкций рабочих патронов [56]. Один из таких вариантов для протяжек с круглым хвостовиком показан на рис. 9.4. В корпусе *1* расположены два валика *2* с выточками под шейку хвостовика протяжки. Валики кинематически связаны между собой с помощью зубчатых секторов *3*, расположенных на их торцах. В рабочем состоянии (захват хвостовика протяжки) валики удерживаются пружиной *4*. Раскрытие патрона обеспечивается рычагом *5*, закрепленным на одном из валиков. Рычаг поворачивается для раскрытия патрона в конце обратного хода при наезде на неподвижный упор, который закреплен на станине.

9.3. Вертикально-протяжные станки для внутреннего протягивания

Вертикально-протяжные станки для внутреннего протягивания применяются, как правило, в серийном производстве. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с горизонтально-протяжными станками:

- нет провисания и искривления оси протяжки;
- на базе вертикального исполнения проще модернизировать станок для одновременной работы двумя и более протяжками, что резко повышает производительность;
- производственная площадь для вертикально-протяжного станка почти в 2 раза меньше, чем для горизонтально-протяжного.

На рис. 9.5 показаны компоновка и установочные размеры вертикально-протяжного полуавтомата мод. 7623. Конструкция станка состоит из установленной на основании *1* станины *5* с рабочим цилиндром и салазками *11*, несущими рабочий патрон. На станине смонтирована также консольная тумба *3* со столом *4*. В верхней части станины расположены вспомогательные салазки *9* с патроном *10*. В основании станка находятся насосы *6* для подачи СОЖ, конвейер *2* для удаления стружки и магнитные ловушки, необходимые для предварительной очистки СОЖ от стружки. Насосная установка *7* расположена сзади станины. Вся электроаппаратура расположена в электрошкафу *8*.

Присоединительные размеры и основные исполнительные органы вертикально-протяжного автомата мод. 7623 показаны на рис. 9.6. Многие узлы вертикально-протяжных станков унифицированы с узлами горизонтально-протяжных станков. В частности, это относится к рабочим и вспомогательным патронам. Распространенная компоновка вертикально-протяжного станка вклю-

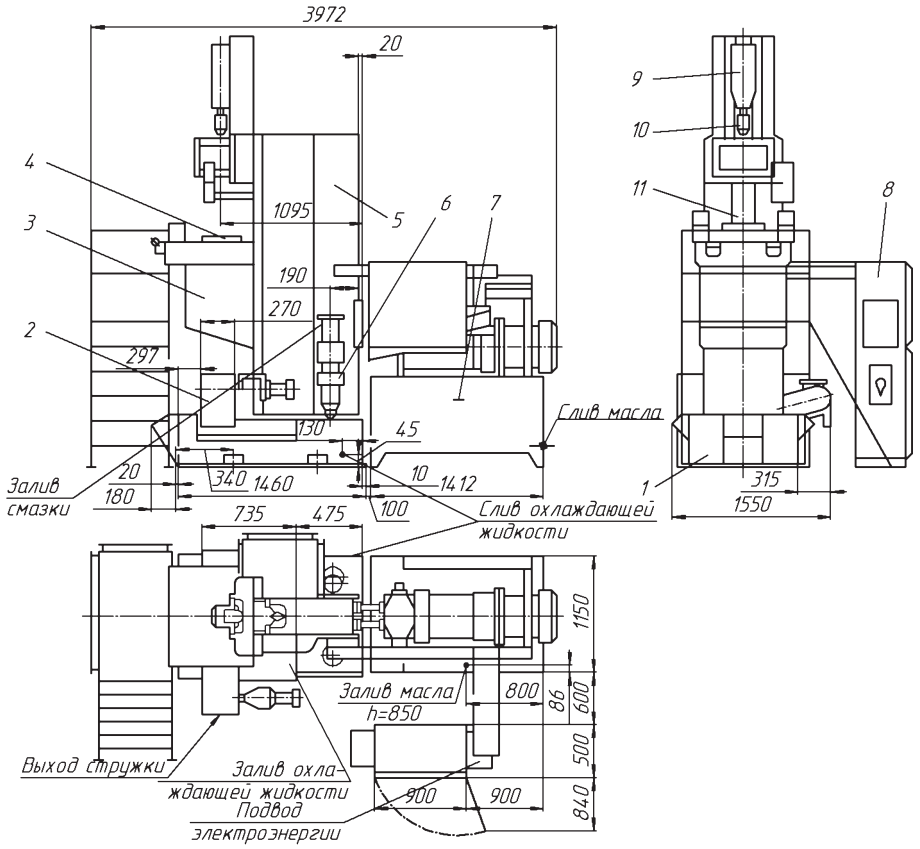


Рис. 9.5. Вертикально-протяжной станок для внутреннего протягивания мод. 7623

чает в себя один рабочий цилиндр, тянущий протяжку. Данное конструктивное решение имеет недостаток: на направляющие рабочих салазок действует значительный изгибающий момент, зависящий от силы резания и расстояния *l* от оси рабочего цилиндра *1* до оси протяжки *2* (рис. 9.7, *а*). Для уменьшения изгибающего момента в вертикально-протяжных станках с большими тяговыми усилиями (более 400 кН) применяют компоновку, в которой рабочий привод состоит из двух цилиндров *3* (рис. 9.7, *б*), расположенных с двух сторон от салазок *2*. Связь штоков рабочих цилиндров *1* с салазками осуществляется через траверсу *4*.

9.4. Вертикально-протяжные станки для наружного протягивания

Вертикально-протяжные станки общего назначения для наружного протягивания применяются, как правило, в крупносерийном и массовом производстве. На рис. 9.8 показан общий вид станка мод. 7745. Компоновки этих станков аналогичны компоновкам вертикально-протяжных станков для внутреннего протягивания, а конструкции состоят из узлов, большинство из которых унифициро-

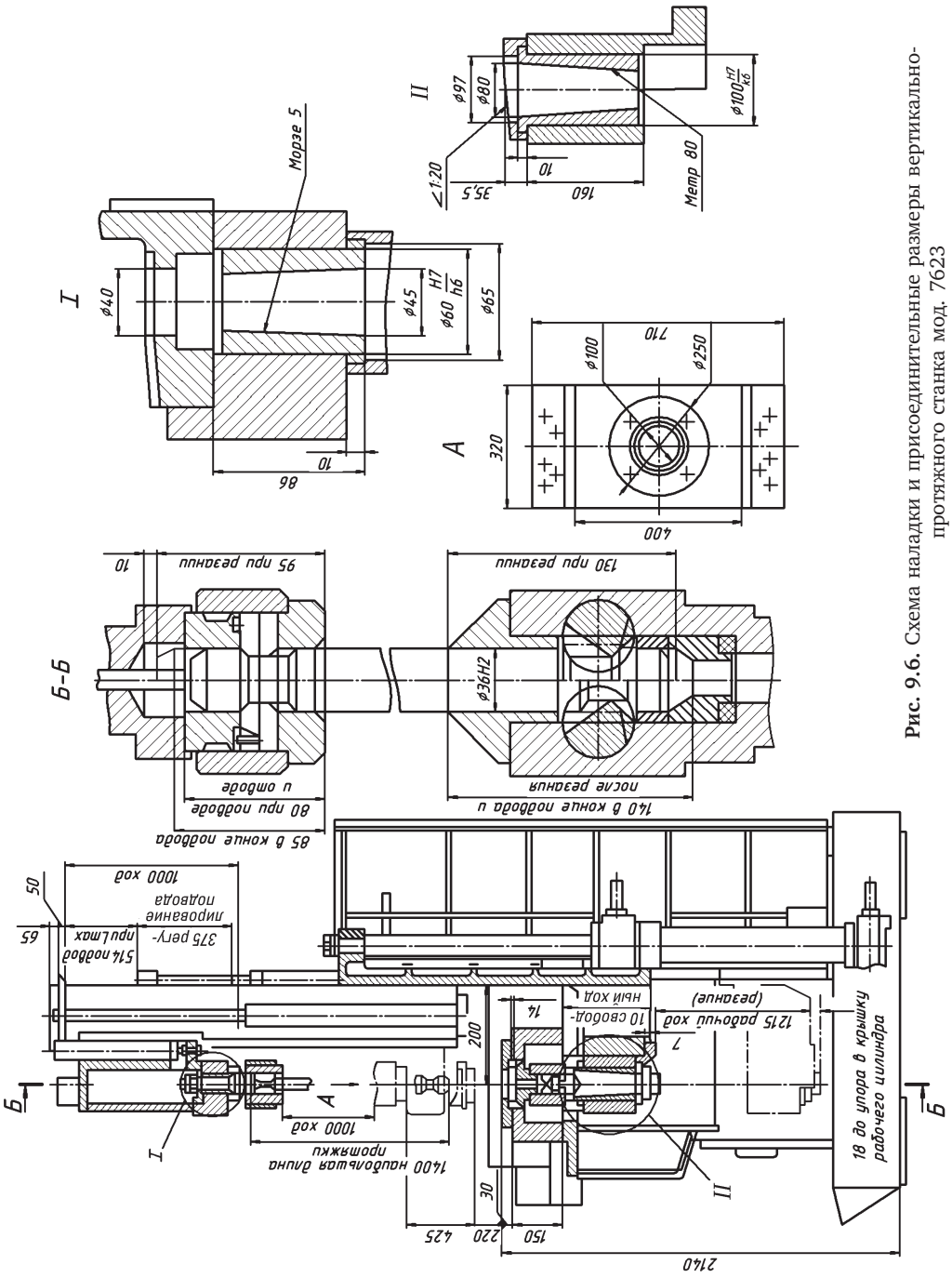


Рис. 9.6. Схема наладки и присоединительные размеры вертикально-протяжного станка мод. 7623

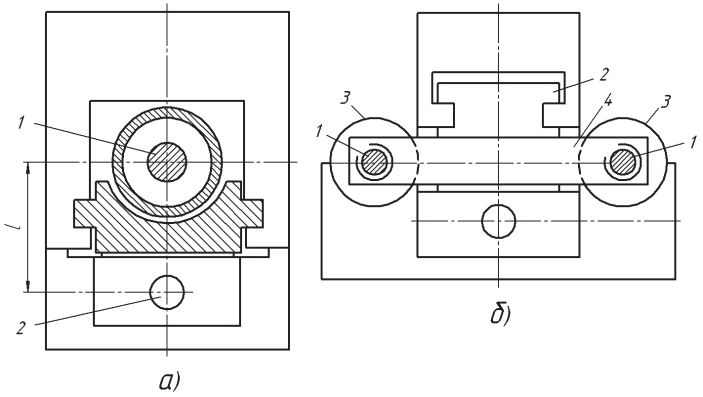


Рис. 9.7. Схемы компоновки вертикально-протяжных станков с одним (*а*) и двумя (*б*) тянущими гидроцилиндрами

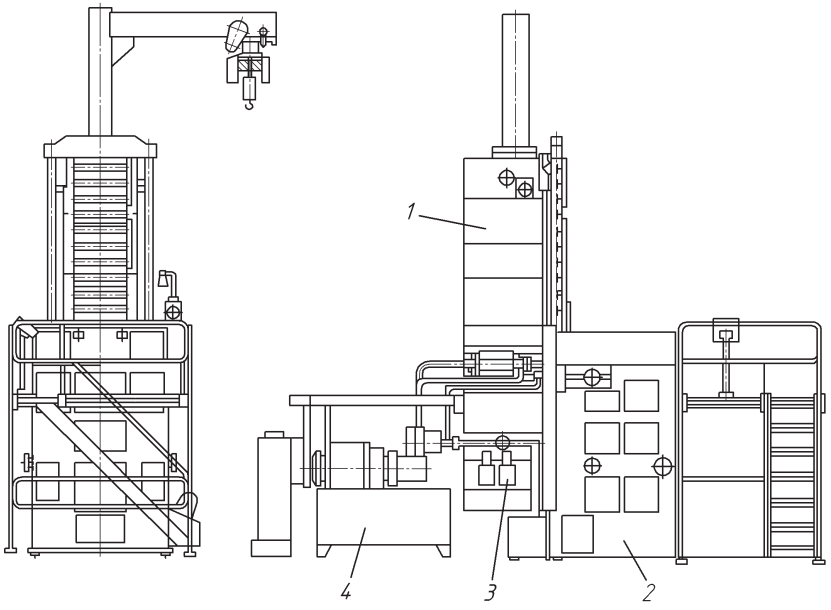


Рис. 9.8. Вертикально-протяжной станок для наружного протягивания мод. 7745

вано с узлами вертикальных внутрипротяжных станков:

- станины *1* с установленными на ней рабочими гидроцилиндром и салазками;
- тумбы *2* с рабочим столом;
- насосной установки *4* и системы подачи СОЖ *3*.

Основное различие заключается в том, что вертикально-протяжные станки для наружного протягивания имеют особую конструкцию стола. На станках этого типа используют столы отводные, опрокидывающиеся, поворотные [56]. Наибольшее распространение в настоящее время имеют отводные столы, что связано с такими их достоинствами, как:

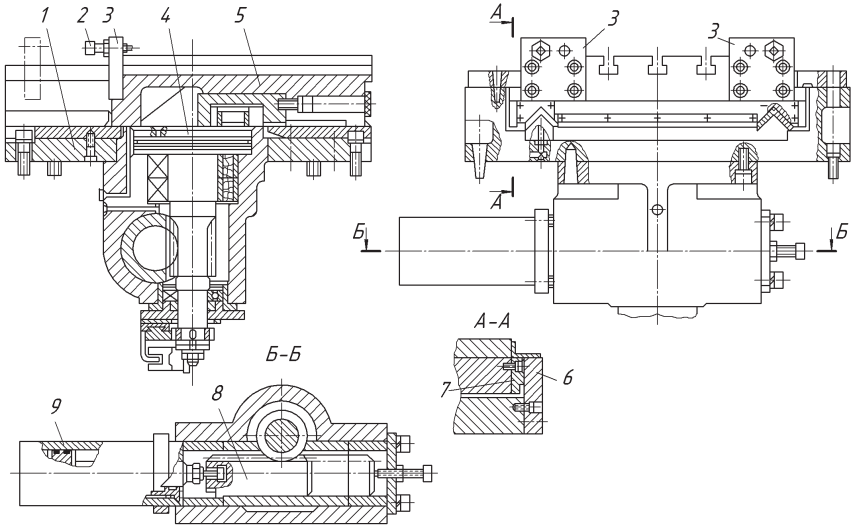


Рис. 9.9. Отводной стол

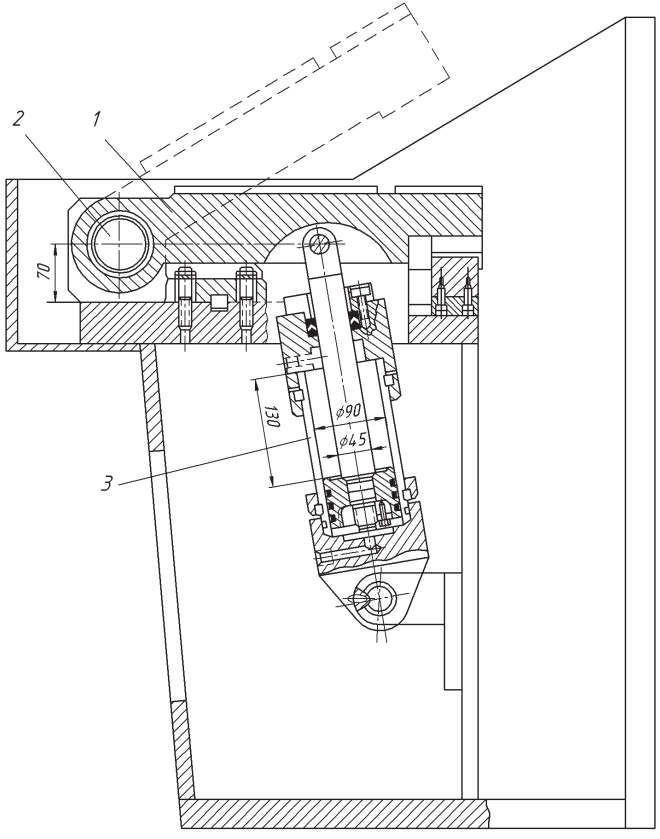


Рис. 9.10. Откидной стол

• простота конструкции;
• удобство размещения установочно-зажимных приспособлений;
• возможность повышения производительности при установке нескольких приспособлений для одновременной обработки нескольких заготовок;
• удобная для автоматизации загрузка-выгрузка деталей.

На рис. 9.9 показана конструкция отводного стола для вертикально протяжного станка наружного протягивания. Стол *5* с пазами для закрепления установочно-зажимных приспособлений перемещается по направляющим, расположенным на плите *1*. Перемещение происходит за счет поворота на 180° кривошипа *4* под действием гидроцилиндра *9* через рейку 8. На конце плиты *1* есть два упора *6*, в которые стол *5* упирается через компенсирующие планки *7* при подводе в рабочее положение. Два упора *3* с винтами *2* предназначены для регулирования установленного на столе *5* зажимного приспособления.

Конструкции отводных столов имеют ряд недостатков:
• большое количество стыков, снижающее жесткость системы;
• нежесткая конструкция стола.

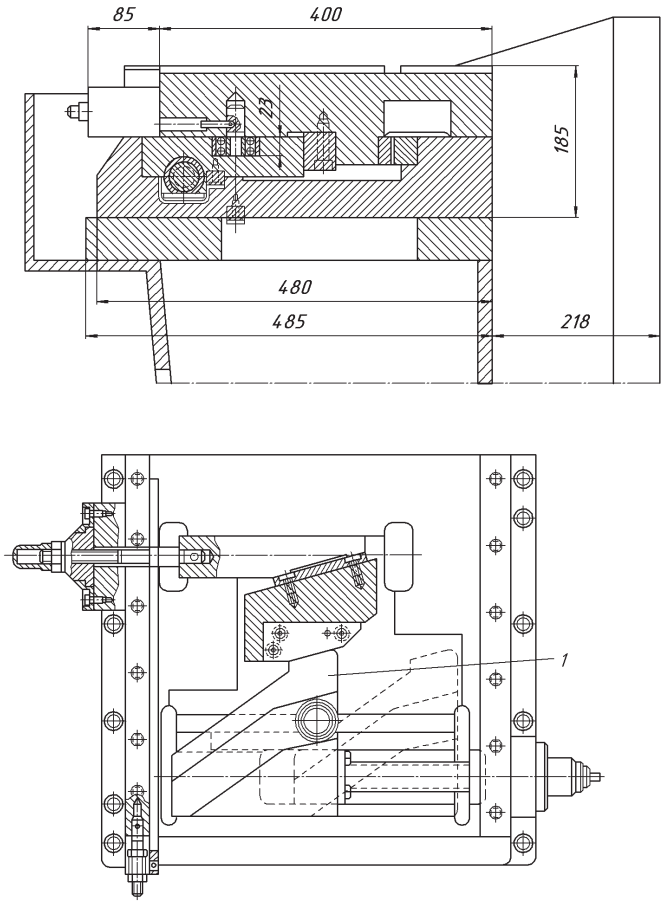


Рис. 9.11. Отводной стол с клиновым механизмом

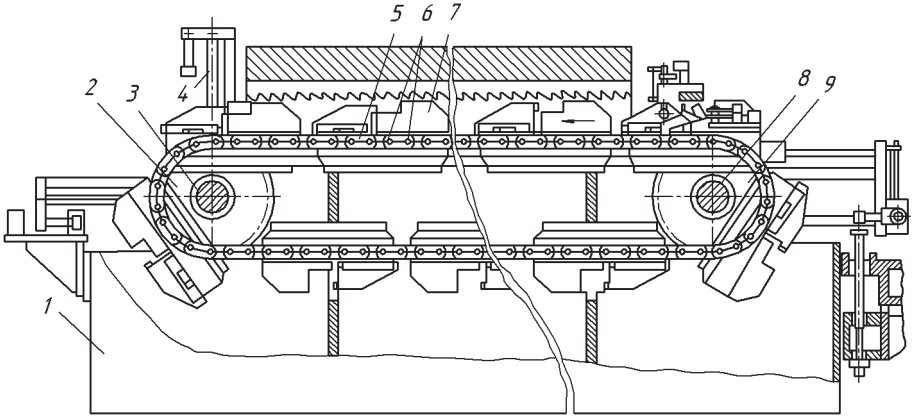


Рис. 9.12. Схема ротационного протягивания с непрерывным прямолинейным перемещением инструмента в зоне обработки

Указанные недостатки учтены в конструкции откидного стола, представленной на рис. 9.10. Стол *1* поворачивается в вертикальной плоскости на оси *2* с помощью гидроцилиндра *3*. На рис. 9.11 показана конструкция отводного стола повышенной жесткости, что достигается использованием в механизме подвода-отвода стола клинового механизма *1*.

9.5. Протяжные станки непрерывного действия

Для обработки наружных сквозных поверхностей в массовом и крупносерийном производстве все большее применение получают непрерывно-протяжные станки. Производительность таких станков обычно в 4…5 раз выше, чем обычных протяжных станков возвратно-поступательного действия. Компоновочное исполнение этих станков может быть вертикальным, горизонтальным и наклонным. Станки данного класса можно подразделить на две группы: с непрерывным перемещением изделий и непрерывным перемещением инструмента. На рис. 9.12 показан продольный разрез станка с непрерывным прямолинейным перемещением заготовки в зоне резания. Конструкция состоит из станины *1*, ведущего *3* и ведомого *8* валов, звездочек *2* и *9*, тяговой цепи *5*, зажимных приспособлений *7*, смонтированных на пальцах *6* тяговой цепи. Соосно с ведомым валом расположен манипулятор для выгрузки *4*.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

Станки для электрофизической, электрохимической и водоабразивной обработки

10.1. Станки для электроэрозионной обработки

10.1.1. Общие сведения

Детали и узлы современных машин и приборов отличаются большим разнообразием конструкций и применяемых материалов, в том числе и таких, формообразование которых известными средствами механообработки затруднено, а иногда невозможно. Кроме того, широкая номенклатура обрабатываемых деталей, частая их обновляемость усложняют производство инструментальной оснастки. С этим связано все более широкое использование процессов электроэрозионной обработки. Конкурентоспособность электроэрозионных станков в сравнении с механообрабатывающими возрастает также в связи с миниатюризацией деталей современных машин и приборов. Сущность метода электроэрозионной обработки заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии (ГОСТ 25331—82).

Принцип электроэрозионной обработки основан на разрушении и удалении материала термическим и механическим действием импульсного электрического газового разряда, направленного на обрабатываемый участок заготовки, находящейся в среде жидкости. При этом в канале разряда, в заготовке, в рабочей жидкости и в электроде-инструменте происходят сложные физико-химические явления (рис. 10.1), определяющие технологические характеристики процесса формообразования.

При сближении электрода-инструмента и заготовки (рис. 10.2), погруженных в рабочую жидкость (диэлектрик или слабый электролит), под действием импульсного напряжения генератора между ними инициируются разряды. Образование разрядов зависит от режима обработки. Электрический разряд представляет собой высококонцентрированный в пространстве и во времени импульс электрической энергии, преобразуемой в тепловую между электродом-инструментом и электродом-заготовкой. После пробоя образуется разрядный канал, окруженный газовым пузырем, причем оба расширяются по мере развития разряда. При бомбардировке поверхности электродов электронами и ионами разряда происходит концентрированное тепловыделение, вызывающее появление лунок с расплавленным металлом, часть которого перегрета и может испаряться. Значительная часть металла удаляется в конце действия импульса тока за счет резкого снижения давления в канале разряда, сопровождающегося

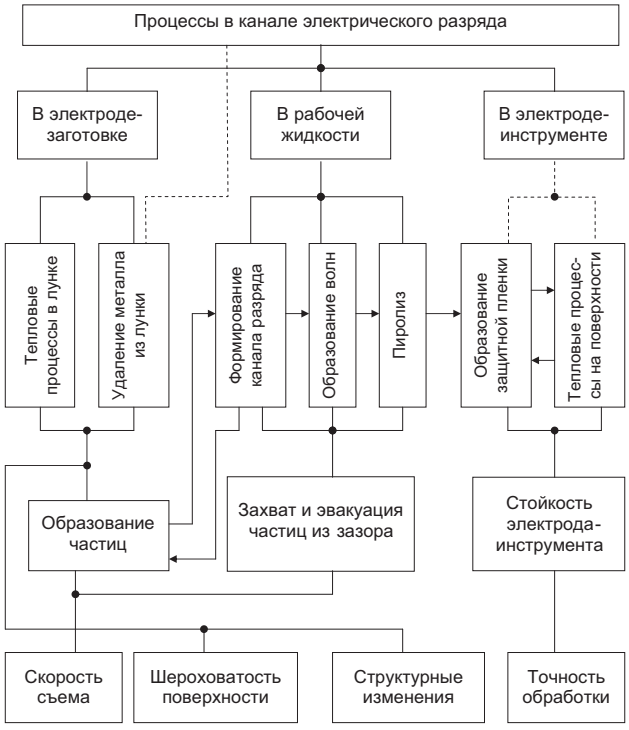


Рис. 10.1. Взаимосвязь основных физико-химических процессов при электроэрозионной обработке

механическими ударными воздействиями, возникающими в результате разложения, а также ионизации жидкой среды в зоне обработки.

При длительности импульсов, равных долям и единицам микросекунд, велики плотности мощности (теплового потока), а площади разрядного канала малы, поэтому металл в основном перегревается и испаряется, размеры единичных лунок невелики и мала толщина слоя, подвергнувшегося изменению свойств (в дальнейшем такой слой будем называть «измененным» слоем). Вследствие влияния электронной составляющей разрядного тока при таком режиме разрушается преимущественно анод. При увеличении длительности импульсов до сотен и более микросекунд увеличивается энергия импульсов, расширяется канал разряда, но снижается плотность теплового потока. В результате металл удаляется в виде расплава, увеличиваются размер лунок и толщина измененного слоя. При этом из-за влияния ионной составляющей разрядного тока разрушается в основном катод, интенсивно разлагается рабочая среда и увеличивается объем продуктов эрозии. Наглядно описанные этапы процесса электроискровой эрозии изображены на рис. 10.3 [4, 16, 46, 53, 58].

В зависимости от вида применяемых разрядов, их параметров и способов генерирования, взаимосвязи генератора и нагрузки, а также рабочей среды электроэрозионная обработка (ГОСТ 25331—82) может быть подразделена на четыре основные разновидности: электроискровую, электроконтактную, элек-

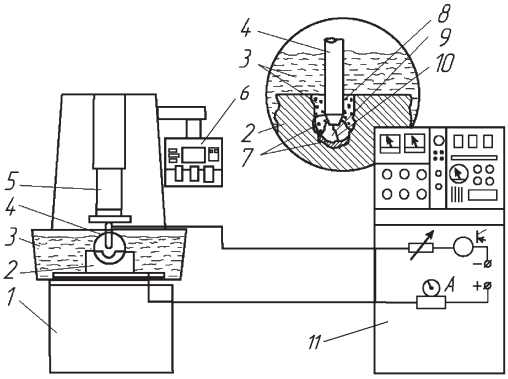


Рис. 10.2. Схема электроэрозионной обработки:
1 — электроэрозионный станок; *2* — заготовка; *3* — ванна с рабочей жидкостью; *4* — электрод-инструмент; *5* — пиноль; *6* — устройство управления; *7* — эрозионная лунка; *8* — продукты эрозии; *9* — газовый пузырь; *10* — плазменный канал разряда; *11* — генератор импульсов

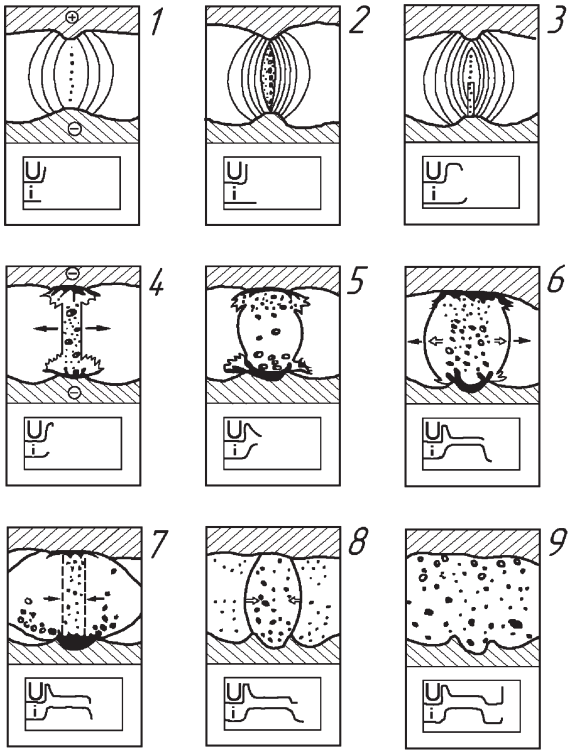


Рис. 10.3. Процесс электрической эрозии:
1 — создание электрического поля; *2* — проводящие частицы образуют мост; *3* — выброс отрицательно заряженных частиц вызывает начало разряда; *4* — протекание тока по положительно и отрицательно заряженным частицам; *5* — образование канала разряда в результате роста давления и температуры; *6* — образование парового пузыря; *7* — прерывание подачи тепла и падение давления после снижения тока, связанного со взрывоопасным съемом материала при его расплавлении и испарении; *8* — уменьшение парового пузыря; *9* — осадки — частицы металла, углерод, газы

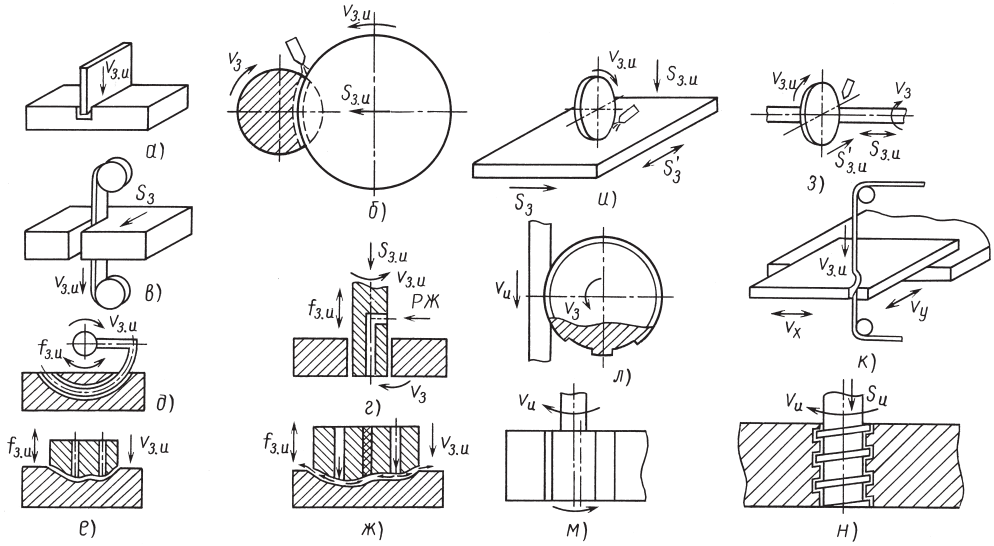


Рис. 10.4. Основные виды электроэрозионной обработки:
а—в — электроэрозионная отрезка; *г, д* — электроэрозионное прошивание; *е, ж* — электроэрозионное объемное копирование; *з, и* — электроэрозионное шлифование; *к, л* — электроэрозионное вырезание; *м* — электроэрозионная обработка вращающимся электродом; *н* — электроэрозионная обработка винтовых поверхностей

троимпульсную и анодно-механическую (последняя относится к комбинированным эрозионным и электрохимическим методам обработки).

Электроэрозионная обработка включает в себя: прошивание, объемное копироване, вырезание, отрезку, шлифование, доводку, маркирование, уточнение.

Электроконтактная обработка (контактная в воздухе, контактно-дуговая в воздухе и жидкости): резка, обработка тел вращения, формообразование внутренних поверхностей, формообразование зубчатых зацеплений, обработка плоскостей, обработка конических поверхностей.

Схемы основных видов электроэрозионной и электроконтактной обработки приведены на рис. 10.4 и 10.13.

Параметры электроэрозионной обработки. Для обеспечения процесса электроэрозионной обработки необходимо подвести к электродам импульсы технологического тока с требуемыми формой и параметрами, а также ввести в межэлектродную полость поток диэлектрической жидкости для удаления продуктов обработки и охлаждения рабочей зоны. Кроме того, нужно настроить сервопривод на поддержание оптимального размера эрозионного промежутка, а в вырезных станках — задать скорость перемотки и натяжение проволочного электрода-инструмента.

Регулируемые параметры электроэрозионной обработки можно условно подразделить на установочные, не подвергающиеся изменениям в процессе заданной операции (например, положение электродов, эрозионный промежуток, проводимость рабочей жидкости и способ ее подачи, полярность включения электродов, форма и длительность импульсов технологического тока, амплитуда

поджигающих импульсов напряжения), и оперативные, требующие настройки в процессе обработки в зависимости от условий в рабочей зоне и прямо влияющие на конечные результаты. К оперативным относятся параметры единичных импульсов разрядного тока, пространственно-временно́е распределение разрядов, расход, температура и диэлектрическая прочность прокачиваемой рабочей жидкости, частота и длительность релаксации электродов.

В зависимости от характера изменения регулируемой величины используют системы программного регулирования, следящие системы и системы автоматической стабилизации.

Режимы электроэрозионной обработки. Режимы электроэрозионной обработки выбираются в соответствии с материалом детали, геометрией обрабатываемой поверхности (глубина, площадь, форма), припуском под обработку, требуемой шероховатостью *Ra* поверхности детали и допустимой глубиной измененного слоя, допуском на размеры и допустимым относительным износом электрода-инструмента.

Оптимизация технологического процесса электроэрозионной обработки в общем случае сводится к разбиению припуска на пооперационные переходы и выбору режимов обработки для каждой операции. Сложнопрофильные полости обрабатываются обычно последовательно. Вначале, на этапе предварительной обработки, удаляется основная часть припуска за минимальное время, определяемое допустимым износом электрода-инструмента. Затем, при получистовой обработке, получают заданную точность изготовления и уменьшают высоту неровностей и толщину измененного слоя. Целью окончательной обработки или доводки является получение требуемой шероховатости поверхности, при этом износ инструмента несколько менее важен, так как удаляемый слой составляет обычно 0,1…0,3 мм.

10.1. Характеристики режимов электроэрозионной обработки

Режим работы	Установленная мощность генератора импульсов, кВт	Длительность импульсов, мс	Частота, Гц	Производительность обработки, мм/мин	Шероховатость обработанной поверхности *Rz*, мкм
Черновой	3…30	10…10 000	50…3000	100…30 000	80…320
Чистовой	0,3…5	20…500	1000…10 000	30…200	20…40
Доводочный	1	Свыше 20	До 300	30	0,63…2,5

Характеристики режимов электроэрозионной обработки приведены в табл. 10.1, а зависимость шероховатости обработанной поверхности от режимов электроэрозии показана в табл. 10.2 и 10.3.

Полярность включения электродов зависит от материала электрода-инструмента и изделия, с учетом требуемой шероховатости обработки. При обработке сталей медными электродами используется обратная полярность (электрод-инструмент — анод), при обработке тугоплавких материалов типа вольфрамо-кобальтовых сплавов электрод-инструмент — катод, прямая полярность.

10.2. Зависимость шероховатости от электрических режимов электроэрозии для стали

Частота, Гц	Сила тока, А	Энергия импульса, Дж	Шероховатость *Ra* (*Rz*), мкм
0,1	10…300	2,6…70	(*Rz* < 320)
0,4	10…300	0,6…20,5	100…160
7	2…30	0,009…0,0098	10…40
25	2…20	0,0028…0,024	2,5…20
100	2…10	0,0065…0,0027	1,25…20

10.3. Зависимость шероховатости от электрических режимов электроэрозии для твердых сплавов

Частота, Гц	Сила тока, А	Энергия импульса, Дж	Шероховатость *Ra*, мкм
0,4	10…50	0,6…3,3	40…160
7	5…30	0,02…0,098	2,5…20
25	5…20	0,012…0,024	1,5…20
100	5…10	0,012…0,0027	1,25

В качестве рабочей жидкости при всех видах электроэрозионной обработки используются низкомолекулярные углеводородные жидкости различной вязкости (керосин, трансформаторное масло и т.п., менее вязкие — для чистовых режимов), вода с присадками (для вырезных станков), кремнийорганические жидкости или многоатомные спирты. Рабочая жидкость должна обеспечивать высокие технологические параметры обработки, сочетая термическую стабильность физико-химических свойств и низкую коррозионную активность к материалам заготовки и инструмента, высокую температуру вспышки, низкую испаряемость, хорошую фильтруемость и низкую токсичность.

Средства технологического оснащения. Станки для электроэрозионной обработки по технологическому назначению классифицируют на универсальные, специализированные и специальные. Наиболее распространены универсальные копировально-прошивочные и вырезные станки, преимущественно вертикальной компоновки. Принципиальная схема станка для электроэрозионной обработки показана на рис. 10.2.

Электроэрозионный станок состоит из станины с рабочей ванной, в которой расположен стол для установки заготовки, рабочей головки, источника технологического тока, регулятора подачи (сервопривода) и блока снабжения рабочей жидкостью. Генератор импульсов представляет собой преобразователь переменного тока промышленной частоты в импульсный униполярный ток с регулируемыми формой, амплитудой и временны́ми параметрами (длительностью, частотой и скважностью). Технологический режим обработки определяется, прежде всего, генератором. Регулятор подачи автоматически поддерживает установленный межэлектродный зазор. Блок снабжения рабочей жидкостью служит для фильтрации и подачи ее в межэлектродную полость в ванну станка с необходимым расходом. В копировально-прошивочных станках электрод-инструмент фа-

сонный, его форма является обратной копией той полости, которую предстоит обрабатывать; в вырезных станках электрод-инструмент представляет собой непрерывно перематываемую проволоку. Физические процессы при обработке на электроэрозионных станках различных типов имеют общую природу и во многом схожи.

10.1.2. Электроэрозионные копировально-прошивочные станки

Электроэрозионные копировально-прошивочные станки позволяют обрабатывать фасонные отверстия и полости, внутренние и наружные поверхности тел вращения, производить шлифование, разрезание и т.д. При копировально-прошивочных работах изменение формы и размеров заготовки происходит за счет электрической эрозии в результате отображения в заготовке формы фасонного электрода. Точки поверхности заготовки задаются в координатах *XYZ*, а обработка ведется, как правило, вдоль оси *Z* (рис. 10.5). Копировально-прошивочные станки с ЧПУ имеют несколько видоизмененную схему формообразования: управление осуществляется обычно по всем трем координатам, вследствие чего возможно получение винтовых и эвольвентных поверхностей и различных внутренних фасонных отверстий и полостей с прямым, обратным или переменным конусами. Перспективны также схема огибания (обкатки) обрабатываемой поверхности фасонным электродом и обработка вращающимся электродом, выполненным в виде тела вращения.

Копировально-прошивочный электроэрозионный станок состоит из станины с рабочим столом и рабочей головкой, приводов подач, устройства управления, генератора импульсов технологического тока и гидростанции с фильтрами для подачи рабочей жидкости. Наиболее распространены вертикальные компоновки копировально-прошивочных станков, оснащенных либо неподвижным столом и подъемной ванной для рабочей жидкости, либо координатным столом и раскрывающейся или съемной ванной (см. рис. 10.5). Рабочая головка с подвижной пинолью крепится на стойке; координатный стол выполняется часто на опорах качения, установленных с предварительным натягом. Возвратно-поступательное движение стола осуществляется, как правило, электромеханическим приводом подач с высокомоментным двигателем постоянного тока, допускающим безредукторное соединение с ходовым винтом. Кинематическая схема привода подачи с высокомоментным двигателем и широко регулируемым электроприводом серии ПРП показана на рис. 10.6. Вал электродвигателя *7* через сильфонную муфту *6* соединен с ходовым винтом *4*. Винт вращается в радиально-упорных подшипниках *5*. Гайка *3* жестко связана с пинолью *2*, к которой крепится электрод-инструмент. Пиноль перемещается в шариковых направляющих качения *1*. Поворот пиноли вокруг оси исключен механизмом *10*. Для контроля перемещений

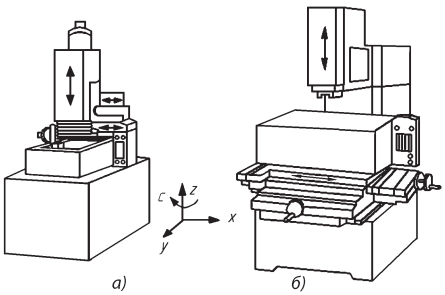


Рис. 10.5. Компоновки универсальных копировально-прошивочных станков:
а — с неподвижным столом и подъемной ванной; *б* — с координатным столом и съемной ванной

10.4. Технические характеристики электроэрозионных копировально-прошивочных станков

Параметр	Россия		Charmilles (Швейцария)	AGIE (Швейцария)	SODICK (Япония)	
	4Л723Ф3М	СЭП.МЭП-2-004	ROBOFORM 100	AGIETRON 100C	SODIC A30R	MoldMaker3
Размер стола, мм	400×630	140×140	450×280	630×500	520×350	600×300
Ход стола/пиноли, мм: продольный	400	25	220	350	300	300
поперечный	250	25	160	250	250	200
Ход пиноли, мм	До 400	До 70	220	350	250	250
Масса заготовки, кг	До 800	—	100	600	400	550
Размер заготовки, мм, не более	550×400×275	—	—	780×500×200	<490	<550
Масса электрода, кг, не более	80	—	50	200	25	50
Точность позиционирования, мм	0,02	0,01	0,1/100	0,005		0,1/300
Число одновременно управляемых координат	3	—	До 4	4	4 (до 6)	4 (до 6)
Шероховатость *Ra*, по стали медным электродом, мкм	2,5 + 40 %	—	До 0,05	До 0,6	—	До 0,05
Производительность по стали 45, мм/мин	1200	—	900	590	—	—
Габариты станка, мм	1740×1760×3030	710×600×400	2500×1500×1300	1650×2115×3670	1400×1905× 2000	1280×1185×1600
Масса станка, кг	3650	—	1500	3670	200	1600
Рабочий ток, А	80		64	60/90	25	40

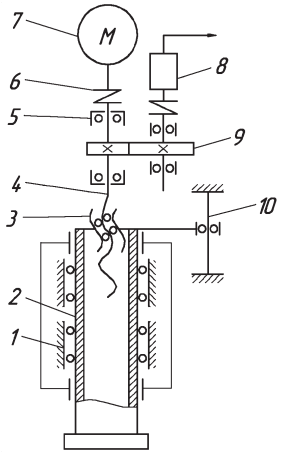


Рис. 10.6. Кинематическая схема электромеханического привода подач электрода-инструмента с высокомоментным двигателем

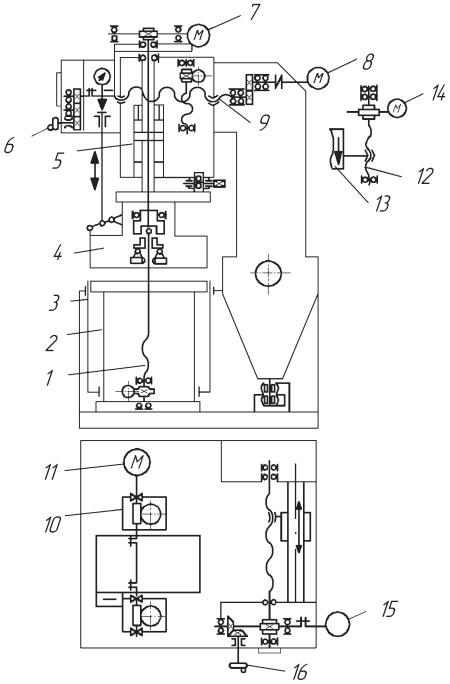


Рис. 10.7. Кинематическая схема электроэрозионного копировально-прошивочного станка с электрогидравлическим приводом подачи электрода-инструмента:
1 — передача винт—гайка для подъема-опускания ванны; *2* — рабочий стол; *3* — ванна с рабочей жидкостью; *4* — орбитальная головка; *5* — электрогидравлический золотник; *6* — маховичок ручного поперечного перемещения прошивочной головки; *7* — электродвигатель орбитальной головки; *8* — электродвигатель поперечного перемещения; *9* — ходовой винт; *10* — редуктор; *11* — электродвигатель привода ванны; *12* — передача винт—гайка вертикального установочного перемещения прошивочной головки; *13* — прошивочная головка; *14* — электродвигатель вертикального перемещения прошивочной головки; *15* — электродвигатель продольного перемещения; *16* — маховичок ручного и продольного перемещения

инструмента установлен сельсин *8*, связанный с блоком индикации. Вращение на вал сельсина передается через зубчатую передачу *9*, обеспечивающую один оборот вала сельсина на 10 мм перемещения пиноли.

В крупногабаритных станках используется также электрогидравлический привод подач, имеющий большой момент и высокую приемистость. Кинематическая схема станка мод. 4Д722АФ3 приведена на рис. 10.7. Станок имеет Г-образную стойку, к которой крепится шпиндельный узел и пиноль на гидростатических опорах. В узле смонтирован датчик линейных перемещений пиноли. Отсчетная система координатных перемещений стола — оптическая с предварительным заданием параметров. Основные характеристики отечественных и зарубежных копировально-прошивочных станков приведены в табл. 10.4.

Типовой техпроцесс обработки на копировально-прошивочных станках заключается в следующем. Заготовку фиксируют и жестко закрепляют на столе или в приспособлении. Тяжелые заготовки обрабатывают без закрепления. Устанавливают и закрепляют в электрододержателе инструмент. Выверяют по уста-

новочным рискам или по базовым штифтам положение электрода-инструмента относительно заготовки. Затем поднимают ванну станка и заполняют ее рабочей жидкостью на 70…80 мм выше поверхности заготовки. Включают генератор, устанавливают требуемый режим обработки, настраивают глубиномер и регулятор подачи. При необходимости включают вибратор и прокачку рабочей жидкости через электрод-инструмент. Для повышения производительности и уменьшения шероховатости обработку проводят за два прохода: предварительный, с высокопроизводительными режимами (черновым электродом) и окончательный (чистовым электродом), не доходя до окончательной глубины профиля на 0,4…0,5 мм, постепенно снижают энергию импульсов, и окончательную обработку ведут в высокочастотном диапазоне.

Электроэрозионной обработкой прошивают отверстия длиной до 20 диаметров стержневым, а до 40 диаметров — трубчатым электродом-инструментом. Глубина обработки может быть увеличена при вращении инструмента и заготовки и прокачкой рабочей жидкости. На черновых режимах используется графитовый инструмент, а на чистовых — металлический.

Нередко электроэрозионная операция используется после фрезерования основной массы металла и термообработки, что существенно сокращает время обработки на электроэрозионном станке и вместе с тем позволяет улучшить качество поверхности детали, ее шероховатость и характеристики поверхностного слоя.

Электроды-инструменты должны обеспечивать стабильную работу во всем диапазоне рабочих режимов при максимальной производительности и минимальном износе. Конструкция электрода должна быть достаточно жесткой и стойкой к деформации от усилий прокачки и нагрева. Важным требованием является технологичность инструмента. При обработке углеродистых и инструментальных сталей, жаропрочных сплавов на основе никеля применяют графитовый и медный инструмент, для черновой обработки может применяться инструмент из алюминиевых сплавов и чугуна, а при обработке отверстий — из латуни. Детали из твердого сплава и тугоплавких материалов обрабатывают композитным инструментом на основе меди и вольфрама, так как медный инструмент сильно изнашивается, а графитовый не обеспечивает высокой производительности из-за низкой стабильности процесса.

10.1.3. Особенности электроэрозионных вырезных станков

Электроэрозионные вырезные станки широко применяются для обработки деталей в приборостроении, так как отвечают высоким требованиям по точности и степени автоматизации. На вырезных станках также изготавливают детали вырубных штампов, копиры, шаблоны, фасонные резцы, лекала и другую инструментальную оснастку. В зависимости от числа одновременно обрабатываемых заготовок выпускаются одно- и многопозиционные электроэрозионные вырезные станки. Производительность современных вырезных станков достигает 300 мм в минуту, шероховатость поверхности *Ra* 0,1…0,4, точность обработки контура и точность формы до 3…5 мкм.

Особенности конструкции станков определяют их технологические преимущества: не требуется фасонный инструмент, нет необходимости делать поправки

на износ электрода, возможно получение мелких деталей сложной формы, в том числе деталей с эквидистантным профилем (например, матриц и пуансонов) с использованием одной программы ЧПУ, возможность автоматизации, использование в качестве рабочей жидкости воды, эффективная обработка опытных образцов деталей и профильных калибров.

Вместе с тем размеры заготовок, обработанных на вырезных станках, зависят от точности и качества проволочного электрода-инструмента. На точность обработки влияют износ электрода-инструмента, величина зазора между заготовкой и инструментом, точность системы управления или копирования. Износ зависит от режима обработки, толщины заготовки, скорости перемотки проволоки и рабочей среды. Зазор определяется энергией и амплитудой импульсов и также зависит от толщины заготовки, скорости перемотки и натяжения проволоки. Шероховатость обработанной поверхности определяется в основном энергией импульсов и натяжением проволоки. На производительность влияют диаметр и марка проволоки, ее натяжение, скорость перемотки, энергия импульса, среда обработки и толщина заготовки.

От электропроводности рабочей жидкости зависят ширина паза и скорость резания. Максимальная производительность достигается при использовании деионизированной воды, а на чистовых режимах — керосина, который позволяет, кроме повышения эффективности обработки, улучшить шероховатость. При вырезке с поливом зоны обработки, а не погружением требуемое количество прокачиваемой жидкости зависит от толщины заготовки.

Натяжение электрода-инструмента зависит от материала проволоки и ее диаметра. Для достижения высокой точности вырезки желательно использовать максимально возможное натяжение, которое не должно, однако, приводить к обрывам за счет износа и тепловой нагрузки. Для проволоки диаметром 0,05…0,1 мм среднее усилие натяжения примерно 4…6 Н, для 0,15…0,3 мм — соответственно 6…10 Н. Скорость перемотки зависит от толщины детали: слишком малая скорость приводит к обрывам проволоки, слишком высокая — к увеличению конусности. Скорость перемотки выбирается такой, чтобы вся выходящая из межэлектродного промежутка проволока поражалась электрическими разрядами. С увеличением толщины детали от 2 до 80 мм скорость перемотки увеличивается пропорционально от 10 до 200 мм/с.

Принцип вырезания детали с цилиндрической образующей представлен на рис. 10.8, *а*. Проволочный электрод-инструмент внедряется в заготовку, образуя узкую щель шириной $b_п$, равной сумме диаметров проволоки d и двух боковых зазоров S_l между проволокой и деталью.

При вырезании внутренних замкнутых контуров необходимо вначале получить технологическое отверстие для заправки проволоки. Эта операция выполняется на специализированных электроэрозионных станках либо с помощью автоматических приспособлений — стартронов вырезных станков, осуществляющих «сверление» заправочных отверстий методом прошивки. Стартроны позволяют получать отверстия глубиной до 80 мм при диаметре 2 мм или до 30 мм при диаметре 1 мм.

Основные узлы электроэрозионного вырезного станка: координатный стол с приводами подач и приспособлением, фиксирующим заготовку; устройство

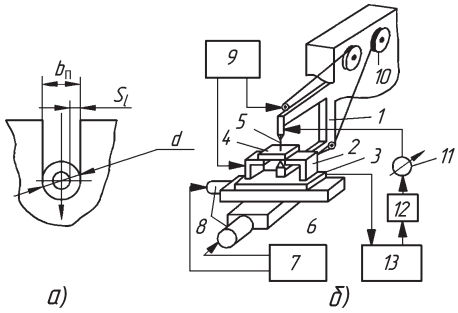


Рис. 10.8. Принципиальная схема вырезания проволочным электродом-инструментом: *а* — прорезка щели; *б* — структурная схема вырезного станка: *1* — рабочая скоба; *2* — рабочий стол; *3* — ванна с рабочей жидкостью; *4* — заготовка; *5* — проволочный электрод-инструмент; *6* — координатный стол; *7* — система управления подачами; *8* — двигатели подач по координатам *X* и *Y*; *9* — генератор импульсов технологического тока; *10* — блок перемотки и натяжения проволочного электрода-инструмента; *11* — регулирующее устройство подачи рабочей жидкости; *12* — насос; *13* — бак для рабочей жидкости

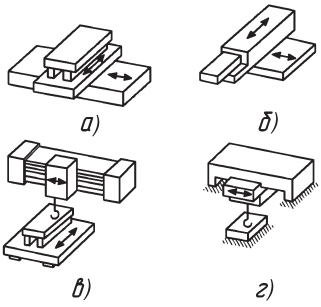


Рис. 10.9. Компоновки электроэрозионных вырезных станков:
а — с крестовым столом; *б* — с крестовым столом и консольным креплением заготовки; *в* — заготовка со столом перемещается в одном направлении, а рабочая скоба на портале — в другом; *г* — деталь неподвижна, каретка перемещается на неподвижном портале

направляющих проволоки, ее перемотки и натяжения; агрегат подготовки и подачи рабочей жидкости в зону обработки, система управления подачами; генератор импульсов технологического тока.

Вырезные станки работают обычно в декартовой системе координат, что определяет компоновку координатного стола (рис. 10.9):

1) заготовка устанавливается на крестовом столе и совершает координатные перемещения вместе с ним;

2) заготовка неподвижна, координатные перемещении имеет инструментальная скоба, закрепленная на жестком портале;

3) в крупных станках используют портальную конструкцию, инструментальная скоба перемещается вдоль портала, а стол с заготовкой движется в перпендикулярном направлении, что позволяет обрабатывать детали больших габаритов и массы.

Характеристики электроэрозионных вырезных станков приведены в табл. 10.5.

Конфигурация детали определяется геометрией зазора и кинематикой передаваемого станком движения. Эрозионный промежуток между поверхностями электрода и изделия составляет несколько сотых долей миллиметра. Осуществление движений рабочих органов станка должно соответствовать точности обработки с учетом геометрических и динамических погрешностей станка.

10.5. Технические характеристики электроэрозионных станков

Параметр	Мод. 4732ФЗМ	Мод. А207.78	Bother (Япония) HS-300	Sodick (Япония) A320L-E	Charmilles (Швейцария) ROBOFIL 200	AGIE (Швейцария) AGIECUT 100D
Размер заготовки, мм, не более	250×160×75	430×270×120	250×380×100	700×500×175	900×520×150	810×580×250
Масса заготовки, кг, не более	45	200	60	250	500	200
Перемещение по координатам, мм:						
X	250	250	160	320	320	300
Y	125	250	260	200	220	200
Диаметр проволоки, мм	0,05…0,03	0,06…0,4	0,1…0,3	0,1…0,3	0,1…0,3	0,03…0,33
Число координат	3	2	4	4	4	4
Производительность съема, мм/мин, не более	35	30	180	до 300	265	>175
Шероховатость *Ra*, мкм, не менее	1,25	—	0,5	0,5	0,5	до 0,18
Точность позиционирования, мм	0,02	0,02	—	0,1/300	0,1/100	0,01/100
Габариты станка, мм	830×1200×1570	1030×1000×1790	980×980×1675	1185×1131×1800	1675×1970×2335	3200×3800×2200
Масса станка, кг	1500	1150	530	2420	1930	2700

Устройства осуществления движения должны быть выполнены с высокой жесткостью, чтобы исключить короткое замыкание между электродом и заготовкой и поддерживать регулируемый эрозионный зазор, который сравнительно невелик из-за наличия продуктов эрозии и собственных колебаний проволоки под действием разрядных импульсов. Таким образом, исходя из точности электроэрозионной обработки наименьший шаг перемещения, отрабатываемый приводом подач, должен составлять 0,2…2 мкм.

Механизм перемотки и натяжения и направляющие проволоки предназначены для обеспечения прямолинейности, малых колебаний проволочного электрода и постоянства скорости проволоки. Прямолинейность достигается усилием натяжения. Нежелательные деформации проволоки могут быть устранены низким отжигом вблизи зоны обработки. Кроме натяжения проволоки на амплитуду колебаний большое влияние оказывает расстояние между направляющими, зависящее от толщины вырезаемой детали.

Для электроэрозионной вырезки используется латунная, медная, молибденовая или вольфрамовая проволока диаметром 0,15…0,3 мм. Допустимые отклонения диаметра проволочного электрода-инструмента — не более 5 мкм; существуют типы проволоки, калиброванные через 1…2 мкм.

Направляющие проволоку элементы выполняются в виде различных конструкций из призм, пространственных лабиринтов из штифтов, подвижных и неподвижных роликов, фильер и т.п. К системе направляющих проволочного электрода предъявляются следующие требования: постоянство силы трении проволоки при ее перемещении, надежная фиксация и отсутствие смещения, постоянство натяжения проволочного электрода и уменьшение амплитуды поперечных колебаний. Этим обусловлено постоянное совершенствование систем направления проволочного электрода-инструмента (рис. 10.10).

Первоначально применялись направляющие вилки (рис. 10.10, *а*), но производительность процесса обработки оказалась зависимой от направления подачи — максимальной при подаче в направлении закрытого конца и существенно меньшей при движении в сторону открытого конца из-за нарушения стабильности обработки при частых коротких замыканиях. Тот же недостаток имеют направляющие в виде твердосплавной призмы с пазом (рис. 10.10, *б*), кроме того, они допускают боковой зазор в пазу, что вызывает появление рисок на поверхности детали. Широко распространены пространственные лабиринты из штифтов, изготовленных из ультракерамики (рис. 10.10, *в*). Проволока располагается между образующими цилиндрических стержней, ограничивающих ее смещение с четырех сторон. Производительность не зависит от направления подачи, но при больших диаметрах проволоки возникают значительные усилия трения, что вызывает быстрый износ штифтов и самой проволоки. Используются призматические направляющие с силовым замыканием (рис. 10.10, *г*), в которых электрод-инструмент проходит между двумя твердосплавными призмами: в одной сделаны канавки для различных диаметров проволоки, а другая поджимается к ней пластинчатой пружиной. Недостатками такого устройства являются низкая технологичность и трудность обеспечения оптимального прижима для тонких проволок диаметром 0,02…0,1 мм.

Перспективны фильерные направляющие (рис. 10.10, *д*), однако они сложны

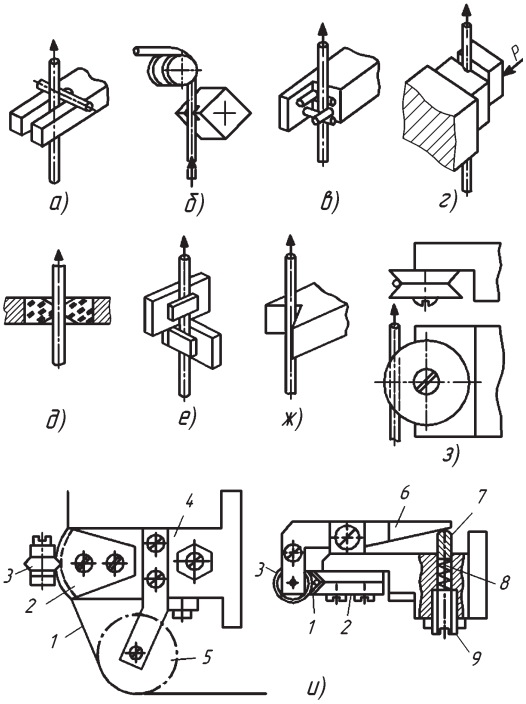


Рис. 10.10. Направляющие проволочного электрода-инструмента:
1 — проволочный электрод-инструмент; *2* — сегментная направляющая; *3* — колесико-прижим; *4* — основание; *5* — токопровод; 6 — рычаг; *7* — толкатель; *8* — пружина; *9* — регулировочный винт

и дороги в изготовлении (материал — природный алмаз или сапфир), затруднена заправка в них проволоки, для каждого диаметра электрода-инструмента необходим комплект фильер; кроме того, проволоку приходится предварительно калибровать с допуском до 0,01…0,02 мм. Просты и достаточно технологичны пластинчатые направляющие (рис. 10.10, *е*), состоящие из двух взаимно-перпендикулярных пластин, разделенных и смещенных по вертикали относительно друг друга. Прижим создается за счет электромагнитов, притягивающих пластину к сердечнику, и его можно регулировать, управляя током катушки электромагнита. Износостойкость направляющих повышают армированием пластин и якоря искусственным алмазом.

Наиболее перспективны направляющие с V-образным пазом, прямые (рис. 10.10, *ж*) или круглые (рис. 10.10, *з*). Они могут использоваться для широкого диапазона диаметров проволоки, причем обеспечивается быстрая и удобная заправка электрода-инструмента без перестановки или замены направляющих элементов. Недостатком их остаются колебания усилия прижима при протягивании эродированной проволоки. Этого недостатка лишены V-образные сегментные направляющие с силовым замыканием (рис. 10.10, *и*), в которых проволока фиксируется в пазу роликом, расположенным поперек паза, с определенным усилием, регулируемым с помощью пружины или электромагнита. То-

коподвод должен быть расположен как можно ближе к зоне обработки, не создавать дополнительного трения и потери энергии импульсов технологического тока. Применяются токоподводы скольжения и вращающиеся (рис. 10.10, *и*). Располагают токоподводы под нижней и над верхней направляющими.

Механизм перемотки и натяжения проволочного электрода-инструмента предназначен для обеспечения непрерывной, плавной, направленной подачи проволоки с заданной скоростью. Устройство перемотки обычно снабжено механизмом укладки проволоки на катушку. Натяжение проволоки создается асинхронным двигателем с полым ротором, работающим в тормозном режиме, либо с помощью грузов.

При обработке заготовок, имеющих контуры малого периметра, на электроэрозионных вырезных станках требуется частая заправка проволочного электрода-инструмента. Разработаны различные система автоматической заправки проволоки. Устройство типа ISOJET (Charmiles) использует для заправки направленную струю рабочей жидкости. По окончании обработки проволока обрезается, производится позиционирование электрода-инструмента к оси следующего заходного отверстия, проволока заправляется в него и протягивается механизмом перемотки и натяжения.

На рис. 10.11, *а* представлена система заправки проволочного электрода фирмы Mitsubishi (Япония). Устройства на рис. 10.11, *б* и *в* обеспечивают отрезку и скручивание концов проволоки соответственно. Устройство заправки состоит из вертикальных салазок, по которым с помощью пары винт—гайка перемещается блок *2* с подающими роликами и вертикальной трубкой *3*. Проволочный электрод с катушки *9* проходит через ролики и трубку в заходное отверстие заготовки *5*. Направляющая *6* проволоки расположена соосно с тянущими роликами,

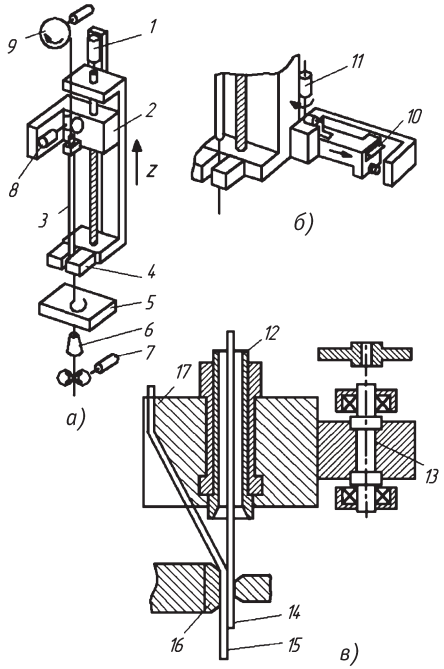


Рис. 10.11. Устройства автоматической заправки проволочного электрода-инструмента (*а*), отрезки (*б*) и скручивания концов оборванной проволоки (*в*):
1 — двигатель; *2* — блок с подающими роликами; 3 — вертикальная трубка; *4* — зажим; 5 — заготовка; *6* — направляющая проволоки; *7, 8, 11* — двигатели; *9* — катушка; *10* — резак; *12* — трубка; *13* — привод; *14* — новый проволочный электрод-инструмент; *15* — конец оборванной проволоки; *16* — выступ зажима; *17* — конический валик

приводимыми во вращение двигателем *7*. На вертикальных салазках смонтировано устройство обрезки проволоки с резаком *10*, перемещаемое соленоидом. Поворот резака осуществляется двигателем *11*. Перед обрезкой блок с подающими роликами и трубкой перемещается вверх, а зажим *4* автоматически освобождает нижний конец трубки. Устройство скручивания автоматически соединяет оборванную проволоку. Электрод подается сквозь трубку *12*, а по образующей соосного с ней конического валика *17* заправляется нижний конец оборванной проволоки. Выступ *16*, покрытый резиной, прижимается к выступу верхней консоли. Конический валик получает вращение от привода *13*.

Современные электроэрозионные вырезные станки комплектуются совмещенными ЧПУ-генераторами с 32-разрядным процессором с высокой скоростью обработки данных, позволяющей обеспечивать не только управление 4-координатной обработкой, но и параллельно отслеживать параметры работы генератора.

Применение электроэрозионной обработки. Разработка и применение специализированных электроэрозионных станков определяются спецификой требований потребителей. Выпускаются станки для изготовления цилиндрических сеток генераторных ламп, обработки конструкций типа «беличьего колеса», расточки статоров электрических машин, нарезания резьб и т. д. Для получения заготовок из молибдена, вольфрама, никеля, сплавов на основе титана выполняют вырезку круглых и профильных заготовок на копировально-прошивочных станках графитовым или медным полым электродом. Резка проката трудно обрабатываемых материалов осуществляется на эрозионных станках с вращающейся головкой дисковым электродом. Малогабаритные и точные детали получают на вырезных станках.

Электроэрозионная обработка используется для прошивания каналов аэродинамического профиля монолитных колес газовых турбин. Обработка осуществляется за два перехода (на радиальной подаче образуют предварительный канал, а затем при тангенциальной — требуемый профиль) на специальных копировально-прошивочных станках. Обработанные на эрозионных станках штампы имеют повышенную износостойкость за счет высокой микротвердости поверхностного слоя.

Обработка групповыми электродами-инструментами позволяет одновременно обрабатывать до 800 и более отверстий диаметром от 0,2 до 2 мм с высокой точностью (±2 мкм) и шероховатостью (*Ra* 0,32…0,16) при изготовлении пазов, сеток и решеток.

Клеймение и гравирование применяются для нанесения на детали знаков, надписей и рисунков проволочным или профилированным инструментом. Электроэрозионная обработка позволяет наносить четкое, стойкое к истиранию изображение на труднообрабатываемые материалы с производительностью 3…8 мм/с.

Электроэрозионное шлифование — метод чистовой обработки труднообрабатываемых, магнитных и твердых сплавов проволочным, ленточным, круглым или профильным электродом. Для производительных режимов используют постоянный ток.

10.1.4. Электроконтактная обработка

Электроконтактная обработка является разновидностью электроэрозионной обработки и относится к числу перспективных методов высокопроизводительного изготовления деталей из высокопрочных конструкционных материалов при использовании относительно несложных оборудования и технологий. Область применения электроконтактной обработки — разрезание заготовок, отрезка литниковых прибылей, обработка цилиндрических, конических и плоских поверхностей заготовок, зачистка отливок от заливов и т.п.

Электроконтактная обработка основана на электроэрозионном разрушении электрода-заготовки под воздействием электродуговых разрядов между заготовкой *3* и электродом-инструментом *2* в результате пробоя межэлектродного промежутка (принципиальная схема показана на рис. 10.12). При этом выделяется большое количество тепла, что приводит к нагреву и мгновенному расплавлению металла заготовки в зоне дуги и выбросу расплавленного металла. В межэлектродном промежутке образуются пары, продукты эрозии удаляются за счет разрядов, потока рабочей жидкости *1* и за счет центробежных сил. Продукты эрозии представлены в основном оксидами, однако это не приводит к короткому замыканию.

Обработка осуществляется при подаче к электродам переменного или (чаще) постоянного тока в воздушной или в жидкой среде. Режимы обработки характеризуются большим током ($I = 15…20$ кА на переменном токе, $I < 9$ кА на постоянном токе). Дуговой разряд характеризуется малым падением напряжения $U = 12…60$ В и высокой плотностью тока до 60 А/мм^2. При обработке в воздушной среде низок относительный износ инструмента, но значительна толщина дефектного слоя обрабатываемой детали. Использование жидкой среды ухудшает стойкость инструмента (относительный износ до 150%), но снижает толщину дефектного слоя. Таким образом, цель рабочей жидкости — локализация разряда, обеспечение его целенаправленного движения, создание сорбционных пленок, обеспечивающих стойкость электрода-инструмента и пассивирующих пленок (тонких пленок оксидов) на продуктах эрозии, интенсификация удаления продуктов эрозии, охлаждение зоны обработки, смазывание и повышение качества поверхностного слоя. Возможна подача рабочей жидкости поливом, под давлением или погружением. В качестве рабочей жидкости обычно используются вода, водные или углеводородные эмульсии и суспензии, минеральное масло, керосин или электролиты.

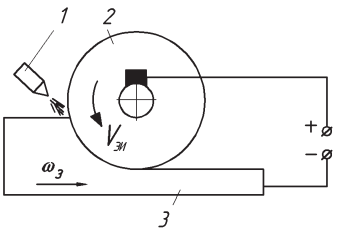


Рис. 10.12. Принципиальная схема процесса электроконтактной обработки

Существуют несколько видов разрядов при электроконтактной обработке: контактный (разряды размыкания, $U = 12$ В), контактно-дуговой (чередование контактных и дуговых разрядов, $U = 24$ В) и дуговой ($U = 24…60$ В).

Основными технологическими параметрами электроконтактной обработки являются производительность, скорость движения подачи, частота вращения инструмента и/или заготовки и величина припуска, включающая в себя глубину дефектного слоя.

В качестве электрода-инструмента применяются диски гладкие либо с радиальными пазами или отверстиями малого диаметра, без покрытия и с ним, изготовленные из чугуна, углеродистых сталей, графита, меди, композитных материалов на основе вольфрама и никеля. При фрезеровании, обдирке и затачивании используют массивные диски из стали, чугуна или меди; глубокое прошивание и долбление ведут вращающимся или вибрирующим медным или латунным трубчатым электродом; для очистки поверхностей сложного профиля применяют стальные щетки из проволоки диаметром 2…3 мм. Широко используются электроды из углеродистых сталей и чугуна с абразивно-изоляционным покрытием. Подача электрода-инструмента достигает:

30…50 мм/мин — при прошивке отверстий в стальных и чугунных заготовках;

260…500 мм/мин — при черновой резке стального проката;

300 мм/мин — при черновой обработке плоскостей;

700 мм/мин — при чистовой обработке плоскостей.

Окружная скорость электрода при этом составляет от 2…6 м/с при обработке отверстий до 40…60 м/с — при резке и обработке плоскостей и пазов.

Производительность электроконтактной обработки составляет порядка 100…200 $см^3$/мин, шероховатость обработанной поверхности от *Rz* 1000 до *Rz* 20. Толщина дефектного слоя при этом может достигать от 10 мкм до 5 мм.

На рис. 10.13 схематично показаны основные технологические процессы электроконтактной обработки. Электроконтактная резка проката из труднообрабатываемых материалов по схеме (рис. 10.13, *а*) осуществляется в ванне с рабочей жидкостью вращающимся электродом, поступательное движение подачи сообщается заготовке. При отрезке круглых деталей заготовка обычно вращается (рис. 10.13, *б*). Обработка шлицевых и шпоночных пазов, а также черновая обработка направляющих (рис. 10.13, *в*) ведется по подобной схеме. Для черновой и получистовой обработки тел вращения типа валиков прокатных станов, колес и слитков используется схема на рис. 10.13, *г* — заготовка и электрод-инструмент вращаются, причем последний осуществляет и движение подачи.

Для черновой и получистовой обработки сквозных отверстий диаметром до 80 мм в заготовках из труднообрабатываемых материалов используют эрозионную установку с вертикальной подачей электрода-инструмента (рис. 10.13, *д*). При обработке отверстий диаметром до 200 мм используют вращающийся трубчатый электрод (рис. 10.13, *е*), сквозь который прокачивается рабочая жидкость. Для черновой обработки зубчатых колес (рис. 10.13, *ж*) используют вращающийся профильный электрод; поступательное движение подачи совершает заготовка. Рабочая жидкость в зону обработки подается поливом. При обработке плоскостей напыленных или труднообрабатываемых деталей используют обработку периферией дискового электрода (рис. 10.13, *з*) или торцом чашечного инструмента (рис. 10.13, *и*); движения подачи совершает заготовка. При обработке конических поверхностей электрод-инструмент разворачивают под углом к заготовке (рис. 10.13, *к*).

Средства технологического оснащения для электроконтактной обработки можно подразделить на серийные, выпускаемые промышленностью, и специальные, выполненные путем модернизации базовых моделей фрезерных, отрез-

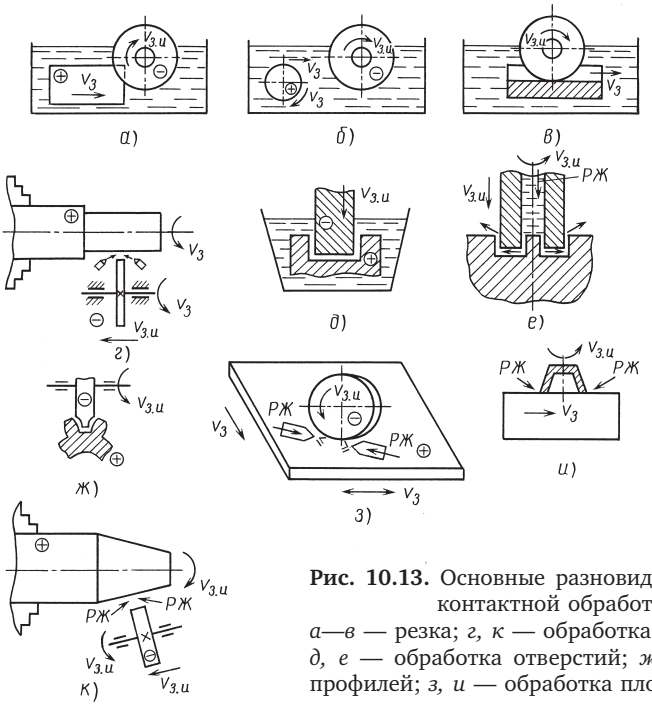


Рис. 10.13. Основные разновидности электроконтактной обработки:
а—в — резка; *г, к* — обработка тел вращения; *д, е* — обработка отверстий; *ж* — обработка профилей; *з, и* — обработка плоскостей

ных, токарных, круглошлифовальных и других станков. Модернизация заключается в оснащении станка специальной дисковой головкой и в системе подачи и очистки рабочей жидкости. Такая доработка обычно не требует существенных изменений в кинематике и конструкции основных узлов базового станка. Например, установка для электроконтактной обработки пазов включает в себя серийный горизонтально-фрезерный станок, насосную станцию, источник тока 22…48 В, 4…5 кА мощностью 250 кВт и ванну для рабочей жидкости. Агрегат для резки заготовок из труб на базе токарно-револьверного станка оснащается источником тока 25…44 В, 05…2,5 кА, 140 кВт, гидростанцией с устройством подачи рабочей жидкости под давлением 2,5 МПа, приводом вращения электрода-инструмента и защитными кожухами.

10.2. Ультразвуковые станки

Под ультразвуковой обработкой понимается целая группа технологических процессов различного назначения, осуществляемых под воздействием высокочастотных колебаний (частотой свыше 16 кГц) на заготовку, инструмент или технологическую среду. В этих процессах ультразвуковые колебания могут быть как основным источником энергии для обработки, так и средством интенсификации других видов технологических воздействий, в том числе и операций, выполняемых традиционными методами обработки.

Ультразвуковые колебания представляют собой бегущие волны упругой деформации, распространяющиеся в газах, жидкостях и твердых телах. Колебания

подразделяются на два основных типа: продольные и поперечные. Если направление распространения волны совпадает с направлением колебания частиц среды, то имеют место продольные колебания. В противном случае, если перемещение частиц происходит перпендикулярно движению волны, говорят о поперечных или сдвиговых волнах. Комбинациями этих двух типов могут быть крутильные, изгибные и поверхностные волны; последние могут распространяться только в твердых телах вдоль границы раздела двух сред. В жидкостях и газах возникают только продольные волны.

Наиболее часто в процессах ультразвуковой обработки используются продольные волны, распространяющиеся с наибольшей скоростью в твердых телах. Скорость и направление распространения звуковых волн зависят от плотности и упругости среды, а также ее размеров. Особенностью высокоэнергетических ультразвуковых колебаний является возможность фокусирования значительной энергии на сравнительно небольшую площадь рабочей зоны. При этом имеют место эффекты нелинейной акустики: интенсивный нагрев твердых тел, кавитация и потоки в жидкостях. По интенсивности диапазон ультразвуковых колебаний условно можно подразделить на колебания высокой интенсивности (более 10^4 Вт/м^2), малой интенсивности (менее 10^4 Вт/м^2), используемой для различного рода измерений (дефектоскопия, расходомеры и др.).

Ультразвуковые колебания высокой интенсивности нашли применение для интенсификации технологических процессов: сварка; пайка; очистка и обезжиривание деталей; механическая обработка труднообрабатываемых материалов и др. Потери энергии при распространении колебаний связаны, в основном, с явлениями внутреннего трения, теплопроводности и упругого гистерезиса среды.

Наиболее важными характеристиками колебательного процесса являются его амплитуда A_0 и частота $f = \omega/(2\pi)$, Гц. Для технологических целей используются высокочастотные колебания в специально выделенных для этих целей и регламентированных соответствующими нормативными актами диапазонах частот: 16,65…19,35; 20,35…23,65 кГц и других с амплитудами 5…80 мкм.

Основные явления и эффекты, возникающие при воздействии ультразвука на твердые и жидкие среды, применяемые в различных процессах обработки, сводятся к следующим видам (рис. 10.14):

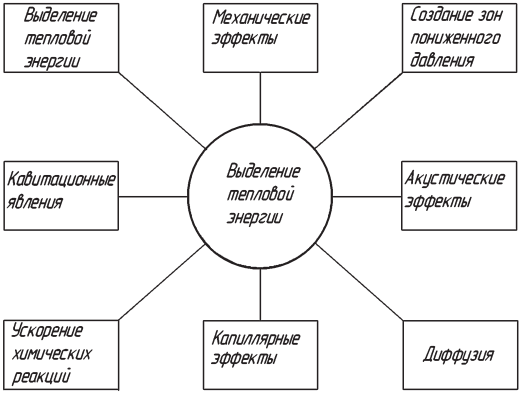


Рис. 10.14. Ультразвуковые воздействия, используемые в технологических целях

• тепловые эффекты, возникающие при рассеянии энергии колебаний в процессе ее передачи, — используются в процессах сварки и пайки;

• механические эффекты: возникновение знакопеременных напряжений в твердых телах, приводящих к усталостным явлениям, — активация ультразвуковой сварки, обработка давлением;

• кавитационные явления, находящие применение в процессах очистки, диспергирования и других операциях, проводящихся в жидких средах;

• интенсификация протекания химических реакций;

• диффузионные явления, вызываемые распространением бегущих ультразвуковых волн;

• эффект разрежения: образование зон дефицита давления при образовании стоячих волн в жидких средах, снижение температуры кипения жидкости и интенсификация удаления влаги при сушке;

• интенсификация капиллярных эффектов в жидкостях и расплавах, — применяется в процессах пайки, лужения и др.;

• образование микропотоков в жидкостях под действием акустических эффектов.

В процессах механообработки с использованием ультразвука наибольшее распространение получило использование механического воздействия колебаний на технологическую среду. Уже нашли применение в промышленности и продолжают разрабатываться различные процессы обработки с использованием колебаний ультразвуковой частоты в качестве основного или дополнительного источника энергии или средства повышения производительности технологического процесса.

Все эти методы обработки можно подразделить на следующие основные группы.

1. *Ультразвуковая абразивная обработка.* Эта наиболее многочисленная группа процессов включает в себя операции как с использованием абразивного инструмента, так и с применением свободного абразива в виде водных и других суспензий. Если в случае применения абразивного инструмента ультразвук оказывает лишь интенсифицирующее воздействие, то при применении свободного абразива он играет основную технологическую роль.

2. *Ультразвуковая комбинированная обработка.* К этой группе относятся различные технологические процессы обработки резанием, давлением, электрохимическими методами, в которых ультразвуковые колебания используются для интенсификации хода основного процесса.

3. *Процессы ультразвукового соединения материалов.* В эту группу можно объединить операции сварки, пайки, лужения и склеивания, в которых высокочастотные механические колебания применяются в основном в качестве источника нагрева или вспомогательного интенсифицирующего средства.

4. *Очистка различных поверхностей от загрязнений с помощью ультразвуковых волн.* Она основывается на способности ультразвуковых колебаний вызывать кавитационные явления в жидких средах и применяется как самостоятельно, так и в составе других процессов, например, в качестве вспомогательной операции для восстановления режущей способности абразивного инструмента в процессе абразивной обработки (шлифования).

5. *Размерная обработка деталей из твердых и хрупких материалов.*

6. *Поверхностно-упрочняющая обработка.*

Для получения ультразвуковых колебаний необходимой частоты и амплитуды применяются специальные установки, состоящие из высокочастотного генератора, вырабатывающего переменный электрический ток с необходимой частотой (обычно порядка 18 кГц), и ультразвукового преобразователя, обеспечивающего преобразование электрического тока в механические колебания; затем полученные колебания через систему волноводов доставляются к месту их использования, т.е. в рабочую зону станка.

Применяемые для промышленных целей, ультразвуковые генераторы в зависимости от элементной базы могут быть ламповыми, транзисторными или тиристорными. Генераторы выпускаются как перестраиваемыми, т.е. допускающими работу с различными типами преобразователей, так и специальными, предназначенными для работы только с одним конкретным типом преобразователя. Транзисторные генераторы наиболее маломощны и обычно работают с преобразователями мощностью не более 4 кВт. Они имеют наибольший КПД порядка 60% и проще в обслуживании. Транзисторные генераторы, хотя и обладающие несколько меньшим КПД, рассчитаны на работу в диапазоне мощностей от 2 до 10 кВт. Для получения мощностей более 10 кВт используются ламповые или специальные транзисторные генераторы.

Кроме обеспечения необходимой выходной мощности, к высокочастотным генераторам предъявляются жесткие требования по стабильности выходной частоты и точности ее настройки (установки). Под стабильностью частоты понимается относительное отклонение выходной частоты Δf, которое может произойти вследствие изменения температуры окружающей среды, перепадов напряжения в питающей генератор сети и т.п., от ее номинального значения f_0. Стабильность частоты генераторов $\Delta f/f_0$, работающих с магнитострикционными преобразователями, должна быть не хуже $5 \cdot 10^{-3}$, а для пьезоэлектрических преобразователей — не хуже $5 \cdot 10^{-4}$.

Для стабилизации выходной частоты генератора может быть применена система автоматической подстройки частоты (*АПЧ*). Эта система, являясь составной частью генератора, обеспечивает автоматическую подстройку и стабилизацию частоты генерируемых колебаний с необходимой точностью. Структурная схема генератора представлена на рис. 10.15. При подключении установки к сети электропитания напряжение от блока питания (*БП*) подается на задающий генератор (*ЗГ*), который преобразует постоянное напряжение питания в переменный электрический ток ультразвуковой частоты. Система *АПЧ* поддерживает с высокой точностью значение частоты генерируемых колебаний. Усилитель мощности (*УМ*) позволяет получить необходимые мощностные характеристики.

Для преобразования электрической энергии в энергию механических колебаний и передачу ее к месту использования применяются ультразвуковые коле-

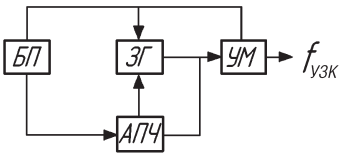


Рис. 10.15. Структурная схема генератора ультразвуковых колебаний:
БП — блок питания; *ЗГ* — задающий генератор; *УМ* — усилитель мощности; *АПЧ* — система автоматической подстройки частоты; $f_{узк}$ — выходная частота генератора

бательные системы. Они могут обеспечивать получение продольных, крутильных, изгибных, радиальных и поперечных колебаний. Колебательная система состоит из активного и пассивного элементов. Активным элементом (звеном, возбуждающим колебания в механической системе) является преобразователь. Известны электромагнитные, электродинамические, магнитострикционные и пъезоэлектрические преобразователи. В ультразвуковом оборудовании применяются преобразователи двух типов: магнитострикционные и пьезоэлектрические.

Пассивные элементы выполняют роль связующего и согласующего звена между преобразователем и инструментом или технологической средой. Основные функции пассивных элементов колебательной системы:

• преобразование амплитуд колебаний;

• согласование волновых сопротивлений источника и потребителя для обеспечения минимальных потерь при передаче энергии ультразвука от преобразователя к инструменту;

• надежное закрепление колебательной системы на станке;

• обеспечение хорошего акустического контакта колебательной системы с ультразвуковым инструментом;

• излучение ультразвуковых колебаний в технологическую среду или на обрабатываемый объект.

Как и любые другие, ультразвуковая колебательная система обладает тремя основными характеристиками, от которых в значительной мере зависит ее работоспособность:

• резонансная частота f_0 — частота основного резонанса колебательного звена, при которой амплитуда колебаний в системе достигает своего максимального значения;

• добротность Q — количественная характеристика резонансных свойств, показывающая отношение значения амплитуды колебаний на резонансной частоте к амплитуде возбуждающей силы;

• полное механическое сопротивление (механический импеданс) Z — отношение силы, с которой система воздействует на среду, к скорости колебаний частиц этой среды в определенной точке. Значение механического импеданса системы зависит от частоты колебаний и достигает своего минимального значения на резонансной частоте.

Выбор оптимального значения добротности колебательной системы зависит от характера потребителя ультразвуковых колебаний. Для передачи возможно большего количества энергии при излучении колебаний в жидкость добротность составляет $Q = 10…20$, а при работе с ультразвуковым инструментом для увеличения амплитуды колебаний $Q = 100…1000$. Для достижения высокой добротности элементы колебательной системы изготавливаются из высокодобротных материалов (с минимальным рассеянием акустической энергии). Примером таких материалов могут служить титан, твердая латунь, легированные алюминиевые сплавы.

Магнитострикционные преобразователи. Принцип действия преобразователей этого типа основывается на применении магнитострикционного эффекта для преобразования электрической энергии в механические колебания

ультразвуковой частоты. Было замечено, что некоторые материалы способны изменять свои геометрические размеры под действием магнитного поля. Это физическое явление получило название «магнитострикция». Наибольшей магнитострикционной деформацией обладают никель, альферы Ю12, Ю14, железокобальтовые сплавы — пермендюры К49Ф2 и К65. Конструктивно преобразователь представляет собой сердечник из магнитострикционных материалов с размещенной на нем обмоткой (рис. 10.16,*а*). Для ослабления потерь и уменьшения нагрева сердечника за счет возникающих в нем вихревых токов его собирают из отдельных тонких пластин (толщиной 0,1…0,5 мм), изолированных друг от друга специальным изоляционным лаковым покрытием. Резонансные частоты таких преобразователей находятся в диапазоне 8…44 кГц, а максимальная амплитуда колебаний может составлять 50…70 мкм. Ультразвуковые преобразователи значительной мощности снабжаются системами принудительного водяного охлаждения. Для уменьшения потребляемой от генератора мощности и повышения КПД преобразователя обычно применяется подмагничивание сердечника постоянным током, пропускаемым через дополнительную обмотку. Серийно выпускаются магнитострикционные преобразователи мощностью от 60 Вт до 4,5 кВт при напряжении питания 200…440 В.

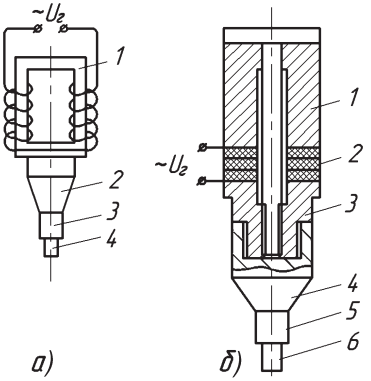


Рис. 10.16. Схемы ультразвуковых колебательных систем: *а* — с магнитострикционным преобразователем: *1* — магнитострикционный преобразователь, *2* — концентратор, *3* — волновод, *4* — инструмент; *б* — с пьезоэлектрическим преобразователем: *1* — пакет пьезокерамических пластин, *2* — отражатель, *3, 5* — волноводы, *4* — концентратор, *6* — инструмент

В пьезоэлектрических преобразователях (рис. 10.16, *б*) для получения ультразвуковых колебаний используется пьезокерамика. Пьезокерамические материалы — это специальные сегнетоэлектрики, которые под воздействием внешнего поляризующего электрического поля приобретают пьезоэлектрические свойства и становятся пьезоэлектриками. Если воздействовать на пьезоэлектрик внешним электрическим полем, то он в результате обратного пьезоэффекта будет деформироваться и изменять свои геометрические размеры. Таким образом, электрическое воздействие преобразуется в механическое перемещение поверхностей пьезоэлемента. К материалам, обладающим сегнетоэлектрическими свойствами, относятся пьезокварц, титанат бария, специальные виды пъезокерамики (ЦТС-19, ЦТС-23, ТБК-3 и др.). Пьезоэлектрические преобразователи могут работать как на частоте основного резонанса, так и на частотах нечетных гармоник. Резонансные частоты таких преобразователей находятся в диапазоне 18… 1760 кГц при амплитуде колебаний 30…40 мкм. По сравнению с магнитострикционными, пьезоэлектрические преобразователи имеют более высокие резонансные частоты и меньшую мощность. В настоящее время разработаны преобразователи мощностью от 60 Вт до 2,5 кВт. Среди недостатков этих преобразователей можно отметить их низкую механическую прочность. Ударные перегрузки керамических пластин не должны превышать величин порядка 15*g*.

Передача энергий колебаний от преобразователя к инструменту или излучателю осуществляется с помощью волноводов. В качестве волновода используются стержни или трубки постоянного сечения, жестко связывающие преобразователь с инструментом. Волноводы также имеют свою собственную резонансную частоту, на которой энергия колебаний рассеивается минимально. Значение этой частоты зависит от геометрических размеров волновода, модуля упругости и плотности материала волновода. Для передачи энергии колебаний с наименьшими потерями необходимо обеспечить равенство резонансной частоты системы волноводов и рабочей частоты преобразователя, что достигается пригонкой геометрических параметров волноводов и настройкой колебательной системы в целом.

Эффективность работы ультразвуковой колебательной системы зависит от метода крепления и качества акустического контакта при соединении преобразователя с волноводами и инструментами. При недостаточно плотном контакте вследствие потерь энергии происходит интенсивный нагрев этой зоны. Наиболее надежным способом соединений является пайка. При работе с ультразвуковым инструментом для обеспечения эффективного его использования нередко возникает необходимость увеличения амплитуды акустических колебаний в 10…20 раз, для этой цели могут быть использованы концентраторы. Концентратор ультразвуковых колебаний, являясь своего рода резонансным усилителем, осуществляет передачу энергии с увеличением значения амплитуды колебаний. Концентраторы изготавливаются в виде металлических стержней переменного сечения с участками ступенчатой, конической, экспоненциальной или «ампульной» формы. Длина концентратора должна быть кратна целому числу полуволн распространяющихся в нем колебаний, т.е. $l_p = n\lambda/2$. В существующей практике конструирования концентратор может выполняться как в виде отдельного звена, так и являться элементом ультразвукового инструмента.

Эффективность и стабильность работы ультразвуковой установки зависят от качества согласования всех звеньев колебательной системы: генератора, преобразователя, концентратора, волновода и инструмента. Должно обеспечиваться совпадение резонансной частоты колебательной системы и частоты генератора. При изменении частоты колебательной системы под нагрузкой изменяются амплитуда колебаний и режим всей установки, хотя частота генератора остается постоянной.

На резонансную частоту колебательной системы наибольшее влияние оказывает механическая нагрузка; «уход» частоты может достигать 10…15% номинального значения — в этом случае необходима автоматическая поднастройка частоты генератора. Для осуществления некоторых технологических процессов (травления, очистки) требуется передача акустической энергии от колебательной системы в среду технологической жидкости. Такая передача становится возможной при применении излучателей — металлических пластин большой площади, закрепленных на выходном конце подающего волновода. Пластина-излучатель опускается в сосуд с жидкостью. Колеблясь вместе с волноводом, она вовлекает в волновое движение частицы жидкой технологической среды, осуществляя таким образом передачу энергии.

К типовым операциям, выполняемым на ультразвуковых станках, можно отнести следующие виды обработки:

- ультразвуковая отрезка лезвийными одно- и многоместными инструментами;
- ультразвуковое вырезание плоских заготовок толщиной до 6…10 мм полыми одно- и многоместными инструментами;
- ультразвуковое прошивание сквозных и глухих отверстий различной формы, пазов, щелей и т. п. — одна из самых распространенных операций;
- шлифование и доводка;
- маркирование и гравирование.

Одним из распространенных методов ультразвуковой обработки является ультразвуковая абразивная обработка, при которой съем материала осуществляется множеством свободных (не закрепленных на инструменте) абразивных зерен или абразивным инструментом при вибрации инструмента или заготовки с ультразвуковой частотой. Операции ультразвуковой обработки свободным абразивом основаны на хрупком выкрашивании частиц обрабатываемого материала под воздействием множества абразивных зерен, по которым ударяет колеблющийся с ультразвуковой частотой инструмент (рис. 10.17). Качество этого вида обработки зависит от состава абразивной суспензии, состоящей обычно из воды с 20…40% абразивного материала и 1…2% ингибитора коррозии. Суспензия может подаваться в зону обработки как вручную (при обработке небольших деталей), так и принудительно под давлением.

Производительность обработки принято оценивать в линейных (мм/мин) или в объемных ($мм^3$/мин) единицах, например: при ультразвуковой обработке стекла производительность может составлять 6…10 мм/мин. Интенсивность обработки может быть увеличена за счет применения вращающегося инструмента (или вращения заготовки), а также принудительной подачей суспензии в зону обработки. Для повышения производительности и качества обработки, при обработке металлических материалов, возможно комбинирование ультразвуковой абразивной обработки с электрохимическими методами. Минимально достижимая шероховатость обрабатываемой поверхности *Ra* 0,4.

Инструмент для акустической обработки свободным абразивом должен обладать высокой износостойкостью к воздействию абразивных зерен, а рабочая часть инструмента выполняется в соответствии с требуемым профилем обработки. Инструмент изготавливают из стали марок 45, 40Х, У8, У10. В случае сложной формы рабочей части для изготовления инструмента может быть использована латунь. Для присоединения инструмента к выходу волновода колебательной системы применяются резьбы с мелким шагом. Мелкий шаг резьбы предотвращает самоотворачивание инструмента в процессе работы под воздействием ультразвуковых колебаний.

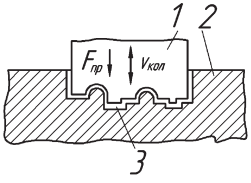


Рис. 10.17. Схемы ультразвуковой абразивной обработки с использованием свободного абразива: *1* — ультразвуковой инструмент; *2* — обрабатываемая заготовка; *3* — абразивная суспензия

Процессы ультразвуковой абразивной обработки осуществляются на специальных станках. Как правило, станки имеют вертикальную компоновку (рис. 10.18).

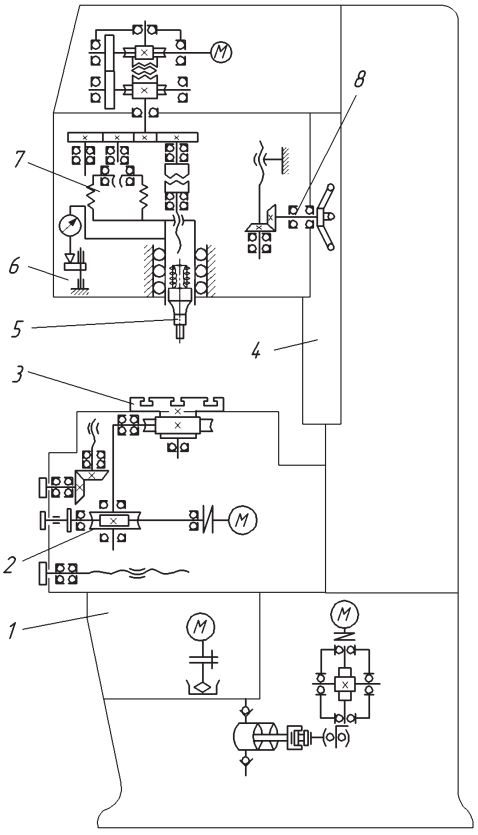


Рис. 10.18. Кинематическая схема универсального ультразвукового станка мод. 4Д772:
1 — станина; *2* — механизм наладочного перемещения стола; *3* — стол; *4* — стойка; *5* — колебательная система; *6* — акустическая головка; *7* — привод рабочей подачи колебательной системы; *8* — механизм наладочного перемещения акустической головки

Несущая система станка состоит из основания, на котором устанавливается станина *1* с вертикальной стойкой *4*. Стойка имеет вертикальные направляющие, по которым перемещается акустическая головка *6*. Внутри корпуса акустической головки располагается колебательная система *5* с магнитострикционным преобразователем и системой его принудительного охлаждения. Колебательная система закрепляется в пиноли, имеющей вертикальное перемещение. Для поддержания постоянного усилия прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности, необходимого для осуществления процесса обработки, служит привод *7* рабочей подачи. По мере углубления инструмента в заготовку привод обеспечивает вертикальное выдвижение пиноли и поддержание постоянного прижима рабочей поверхности инструмента к заготовке. В акустической головке имеется также механизм ее вертикального установочного перемещения *8*, который позволяет поднимать и опускать головку по направляющим вертикальной стойки, обеспечивая настройку станка на различную толщину заготовки.

По станине станка перемещаются продольные салазки, несущие рабочий стол, имеющий поперечное перемещение. При необходимости поворота заготовки в процессе обработки на станок устанавливается поворотный стол, на котором закрепляется обрабатываемая заготовка. Оба стола и салазки снабжены приводами соответствующих перемещений. Внутри станины также располагается система подачи абразивной суспензии в зону обработки. На некоторых станках, например мод. 4Д772Э, 4Д772ЭК, устанавливается дополнительное оборудование, позволяющее осуществлять совмещенную ультразвуковую и электрохимическую обработку заготовок из твердых сплавов, например, деталей инструментальной оснастки. При работе в режиме совмещения двух видов обработки производительность станков наибольшая.

Станки для ультразвуковой обработки иногда оснащаются позиционными системами ЧПУ, позволяющими производить по программе смену зон обработки. Такие станки могут работать как в ручном, так и в полуавтоматическом и ав-

томатическом режимах. В микроэлектронной и приборостроительной отраслях получили распространение малогабаритные настольные ультразвуковые станки повышенной точности. Такие станки оборудуются приводом вращения акустической системы ($n = 350…2000$ мин$^{-1}$), механизмом заточки профильного инструмента и микроскопом для точного позиционирования инструмента. При 8…10-кратном увеличении оптической системы достижима точность позиционирования 0,02 мм.

Сочетание традиционных процессов обработки резанием с акустическими методами дало возможность разработать новые процессы ультразвуковой обработки, отличающиеся повышенной производительностью, лучшим качеством получаемых поверхностей, увеличением стойкости инструмента или проявлением каких-либо других положительных эффектов. Одним из примеров таких процессов является ультразвуковая обработка абразивно-алмазными инструментами. Под действием ультразвуковых колебаний интенсифицируется процесс резания за счет увеличения глубины внедрения зерен абразива в металл. При этом увеличиваются число одновременно участвующих в работе зерен и удаляемая часть припуска. Акустические колебания активизируют смазочно-охлаждающую жидкость в зоне резания, улучшают удаление шлама, способствуют восстановлению режущей способности инструмента, препятствуя его засаливанию и износу, снижают трение в зоне резания. Благодаря этому повышаются стойкость инструмента, его режущая способность, а в конечном итоге увеличивается производительность процесса.

Ультразвуковая абразивно-алмазная обработка может проводиться как на специализированных станках, так и на традиционном металлорежущем оборудовании при оснащении его акустическими головками и ультразвуковым генератором. Примером этого могут служить сменные ультразвуковые головки, конструкции которых приведены на рис. 10.19 и 10.20. Головки предназначены для ведения обработки с применением вращающегося алмазного инструмента. В конструкции, приведенной на рис. 10.19, используется магнитострикционный метод получения ультразвуковых колебаний. Головка состоит из неподвижного корпуса *5*, в котором вращается на подшипниках качения подвижный корпус *7*, имеющий конический хвостовик для закрепления вращающихся частей головки в шпинделе станка. В корпусе *7* размещена колебательная система, состоящая из магнитострикционного преобразователя *6*, концентратора *3* и волновода *2*, являющегося одновременно и корпусом алмазного инструмента *1*. Через штуцер *4* и отверстия в подвижном корпусе *7* подается смазочно-охлаждающая жидкость, поступающая далее через осевой канал концентратора и волновода в зону

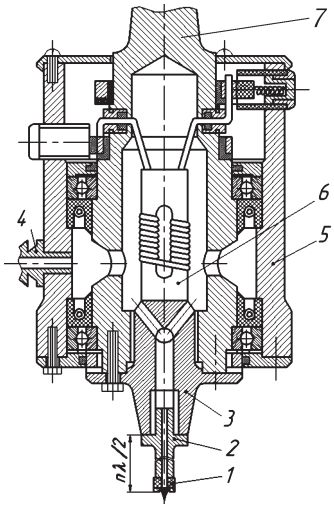


Рис. 10.19. Конструкция ультразвуковой головки с магнитострикционным преобразователем:
1 — алмазоносный слой сверла; *2* — корпус сверла; *3* — концентратор; *4* — штуцер; *5* — неподвижный корпус; *6* — преобразователь; *7* — подвижный корпус

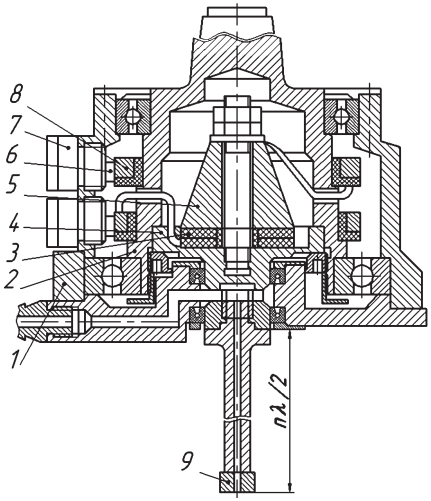


Рис. 10.20. Конструкция ультразвуковой головки УЗГП-3 с пьезоэлектрическим преобразователем:
1 — неподвижный корпус; *2* — подвижный корпус; *3* — пластины из пьезокерамики ЦТС-19; *4* — излучающая накладка; *5* — отражательная накладка; *6* — щетки графитовые; *7* — втулка; *8* — токопроводящие кольца; *9* — алмазный инструмент

обработки. Электроснабжение преобразователя осуществляется через блок коллектора, расположенный в верхней части головки. Блок состоит из двух контактных колец, смонтированных на подвижном корпусе, и двух щеточных узлов с графитовыми щетками, через которые и обеспечивается передача электроэнергии на вращающийся вместе с подвижным корпусом магнитострикционный преобразователь.

Аналогичная по назначению конструкция головки, но выполненная на основе пьезоэлектрического преобразователя изображена на рис. 10.20. Головка включает в себя два корпуса: неподвижный *1* и подвижный *2*. Колебательная система расположена в подвижном корпусе и состоит из набора кольцевых пьезокерамических пластин *3*, зажатых с помощью резьбовой шпильки в единый пакет между двумя накладками: излучающей накладкой *4*, выполненной из титанового сплава, и стальной отражательной накладкой *5*, предназначенной для уменьшения паразитного рассеяния ультразвуковой энергии. Подача СОЖ в зону обработки производится через радиальный канал в крышке неподвижного корпуса и осевой канал в корпусе алмазного инструмента. Электропитание, как и в предшествующей конструкции, осуществляется через блок коллектора.

Не только процессы абразивной обработки, но и обычное резание лезвийным инструментом поддается интенсификации наложением на основной процесс ультразвуковых колебаний. Такое соединение методов обработки обеспечивает:

- резание инструментом с большими передними углами;
- уменьшение среднего сопротивления резанию;
- уменьшение силы резания;
- получение тонкой стружки;
- повышение точности обработки;
- значительное снижение температуры в зоне резания;
- исключение образования нароста.

При использовании ультразвуковых колебаний в процессах резания во всех случаях удается:

- достигнуть уменьшения пластических деформаций обрабатываемой поверхности;
- обеспечить плавный сход стружки;
- исключить образование заусенцев;
- активизировать смазывающее охлаждающее действие СОЖ;

• обеспечить улучшение стабильности микрогеометрических параметров, износостойкости и коррозионной стойкости получаемых деталей.

Операции механической обработки с применением ультразвука проводят на обычных станках, оборудованных акустическими головками и ультразвуковыми генераторами требуемой мощности.

10.3. Станки для лазерной обработки

10.3.1. Общие сведения

Лазерное излучение, обеспечивая высокую концентрацию энергии, позволяет нагревать, плавить и испарять практически любые металлы и сплавы независимо от их теплофизических свойств. Технологические возможности лазерной обработки постоянно расширяются по мере совершенствования как самих лазеров, так и конструкций машин, обеспечивающих относительное перемещение луча и обрабатываемой заготовки. В машиностроении применяются следующие виды обработки лазером: резание листового материала по сложному контуру, прошивание отверстий, сварка, разметка, маркировка, поверхностная термообработка (закалка, отпуск) и др.

Опыт использования лазеров в промышленности показывает, что с помощью луча лазера наиболее часто обрабатывают тонколистовые труднообрабатываемые сплавы железа, титана, никеля, керамику, а также пластмассу, дерево, ткани, различные композиционные соединения. При этом можно получать узкие разрезы с минимальной зоной термического влияния. При лазерной резке отсутствует механическое воздействие на обрабатываемый материал и возникают минимальные деформации, что позволяет осуществлять обработку с высокой точностью, в том числе нежестких заготовок. Благодаря большой плотности мощности лазерного излучения обеспечивается высокая производительность процесса обработки в сочетании с высоким качеством поверхностей. Легкое и сравнительно простое управление лазерным лучом позволяет осуществлять обработку по сложному контуру плоских и объемных заготовок с высокой степенью автоматизации процесса.

С появлением газовых лазеров мощностью свыше 1 кВт стала возможной обработка листового материала толщиной 0,5…10 мм с необходимым качеством. Например, у листов из конструкционной стали толщиной 2 мм достигается высота микронеровности *Rz* 15 (место измерения — середина листа); у листа толщиной 8 мм *Rz* 80, при этом ширина реза 0,2 мм позволяет получать узкие щели, острые углы, тонкие перемычки и малые радиусы.

Рассмотрим несколько примеров обработки листовых изделий лазером в сравнении с высечкой штампом. На рис. 10.21 показана стальная заготовка толщиной 2 мм, имеющая 15 отверстий *b*, для которой пробивка отверстия за 0,3 с является наиболее быстрым и точным способом обработки.

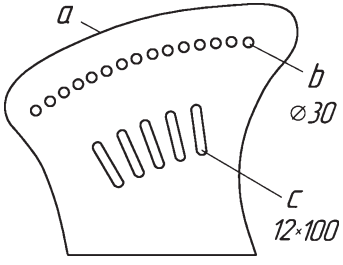


Рис. 10.21. Листовая заготовка из стали (размеры 465×540×2 мм; наружный контур 1500 мм): *a* — высечка за 45 с, резка лазером за 20 с; *b* — пробивка за 3 с, резка лазером за 45 с; *c* — 12×100 мм, высечка за 20 с, резка лазером за 35 с

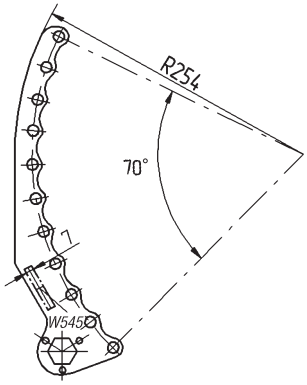


Рис. 10.22. Роликодержатель, разрезанный лазером 100 Вт (310×90 мм, толщина 1,5 мм; наружный контур 700 мм, нарезанный лазером за 7 с, пробивка и высечка за 7,5 с, смена инструмента за 12 с, манипулирование за 10 с — всего 37 с)

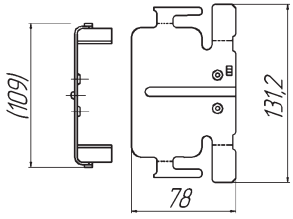


Рис. 10.23. Листовая заготовка 130×180×2 мм, пластически деформированная, разрезанная лазером 750 Вт за 60 с

Продольные пазы *c* могут высекаться или вырезаться лазером, при этом шероховатость высеченной кромки *Rz* 0,2 превышает более чем в 10 раз глубину микронеровности лазерного реза. Для наружного контура *a* все преимущества имеет лазерный метод — меньшее время обработки и лучшее качество кромки.

На рис. 10.22, 10.23 изображены типовые заготовки, обрабатываемые лазером. В последнее время часто возникает необходимость резки объемных заготовок сформированных пластическим способом из листового материала.

Физические процессы при лазерной обработке. Воздействие лазерного излучения на материалы характеризуется общими положениями, связанными с поглощением и отражением излучения, распространением поглощенной энергии по объему материала за счет теплопроводности и других факторов. При воздействии излучения на металл возможны три состояния: нагрев, плавление и испарение. В зависимости от плотности мощности лазерного излучения температура, скорость нагрева, плавления и испарения металла будут различными. Указанные параметры характеризуют изменение структуры материала и процесс разрушения, и, следовательно, изменяя мощность и время воздействия лазерного излучения на металлы, можно управлять процессом обработки.

Для обработки металлов применяются технологические установки на основе твердотельных и газовых CO_2-лазеров, работающих как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режимах излучения. Для интенсификации процесса в зону обработки подается под давлением струя газа, причем скорость резки существенно зависит от параметров газа — состава, расхода и давления (например, для резки сталей и сплавов никеля чаще используют кислород, для резки неметаллических материалов — сжатый воздух, азот и др.).

При лазерной резке металлов с подачей струи кислорода скорость резания увеличивается за счет следующих факторов:

• кислород способствует предварительному оксидированию металла и уменьшению его отражательной способности;

• теплота экзотермической реакции кислорода с металлом усиливает термическое действие лазерного излучения;

• струя сдувает и уносит из зоны обработки расплав и продукты сгорания металла, обеспечивая одновременно приток кислорода непосредственно к фронту реакции горения;

• струя сокращает время остывания материала.

Лазерная резка металлов непрерывным излучением. Исследования процесса газолазерной резки (ГЛР) сталей непрерывным излучением и использованием кислорода показали существование стационарного и нестационарного механизмов разрушения [27]. Теоретическая модель процесса предполагает, что после воспламенения металла через некоторое время устанавливается режим стационарного разрушения, при котором его скорость υ_0 определятся только температурой на границе разрушения T_0 в зоне обработки. Однако до момента стационарного разрушения существует переходный период — нагревание верхней кромки металла до исходной температуры T_0 и увеличение скорости перемещения границы разрушения до υ_0, который сопровождается перераспределением поглощенной энергии лазерного излучения.

В начальный момент граница неподвижна, и вся теплота отводится внутрь металла (нагрев), а также расходуется на образование прослойки жидкого металла, образования оксидов и на нагрев этой прослойки до T_0. Скорость продвижения границы разрушения в переходный период незначительна по сравнению со стационарной. При достижении T_0 скорость разрушения резко возрастает до υ_0, т.е. изменение скорости границы разрушения носит ступенчатый характер.

Лазерная резка металлов импульсно-периодическим излучением. В лазерных станках применяют лазеры, работающие в импульсно-периодическом режиме. В них в качестве активной среды используются кристаллы иттрий-алюминиевого граната, рубина, стекла с неодимом и др. Такие установки обладают достаточно высокой энергией (до 100 Дж и более) и широким диапазоном длительности импульса (от десятков микросекунд до нескольких миллисекунд).

Наряду с преимуществами таких лазеров над газовыми, связанными с возможностью управления параметрами режима обработки, они обладают существенным недостатком — невысокой частотой импульсов (несколько десятков герц). В зависимости от соотношения толщины разрезаемого металла, энергетических характеристик излучения и скорости резки, возможны две схемы формообразования реза по глубине материала.

Первая схема — при обработке тонколистового металла, когда каждый импульс образует в материале элементарное отверстие радиусом $r_э$. Следовательно, процесс резки характеризуется коэффициентом перекрытия элементарных отверстий. Если шаг обработки $S > 2r_э$, то рез образовываться не будет, а на металле появится перфорация. Шероховатость поверхности реза можно оценить выражением

$$Rz = r_э\left[1-\sqrt{1-(1-K_п)^2}\right],$$

где $K_п = \dfrac{2r_э - S}{2r_э}$ — коэффициент перекрытия.

Наибольшее влияние на шероховатость оказывает скорость обработки, и для уменьшения *Rz* следует снижать скорость обработки или повышать частоту импульсов. При увеличении энергии импульса $W_и$ возрастает радиус элементарного отверстия $r_э$, что приводит к снижению *Rz*.

Вторая схема имеет место при обработке деталей больших толщин. После перемещения луча на шаг *S* передний край светового пятна образует очередное элементарное отверстие, а остальная часть участвует в дальнейшем углублении ранее образованных отверстий, что вызывает появление ступенчатой поверхности разрушения. При этом полная глубина реза будет зависеть от количества импульсов, попадаемых в каждое элементарное отверстие в процессе движения лазерного луча. Рассмотренная модель лазерной резки импульсно-периодическим излучением основана на испарительном механизме, а рез представляет собой последовательное расположение отверстий с определенным перекрытием.

10.3.2. Технология лазерной обработки металлов

Из всех процессов лазерной обработки резка (по объему применения) занимает ведущее положение. Для разделительной резки металлов и неметаллических материалов используется более 50% лазеров, а с учетом поверхностной обработки — более 80% лазеров.

Для лазерной резки металлов можно выделить основные факторы, определяющие производительность и качественные показатели процесса (рис. 10.24):

- мощность лазерного излучения;
- плотность мощности, зависящей от мощности и площади пучка πr_f^2 на поверхности обрабатываемой заготовки;
- фокусное расстояние *f*;
- скорость резки $v_р$;
- состав, свойства и толщина *h* обрабатываемого материала;
- поглощательная способность материала;
- диаметр D_0, конфигурация сопла для подачи газа и расстояние от среза сопла до поверхности материала Δ, определяющие параметры и динамику струи газа;
- давление и состав газа.

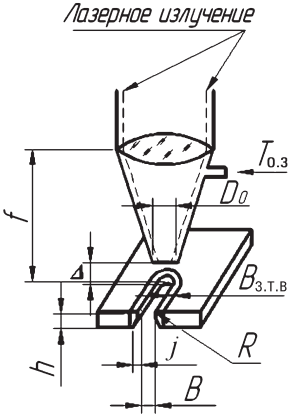


Рис. 10.24. Параметры реза

Качество лазерной резки определяют следующие показатели (см. рис. 10.24):

- отклонение от заданной линии реза;
- шероховатость поверхности реза;
- ширина реза *B*;
- отклонение ширины реза *j*;
- радиус *R* оплавления верхней кромки;
- протяженность зоны термического влияния $B_{з.т.в}$;
- количество грата (наплывы на нижней кромке металла).

Размерная точность обрабатываемых деталей — отклонение от заданной формы и взаимное расположение их элементов — в основном определяется погрешностями несущей системы станка, исполни-

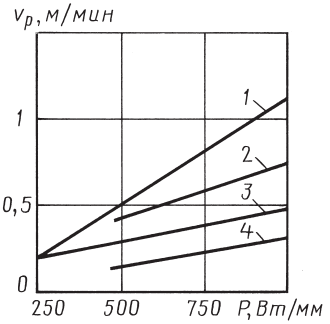


Рис. 10.25. Влияние мощности лазерного излучения на скорость резки различных металлов:
1 — коррозионно-стойкая сталь толщиной 3,2 мм; *2* — алюминий толщиной 0,8 мм; *3* — низкоуглеродистая сталь толщиной 2,3 мм; *4* — титан толщиной 1,5 мм

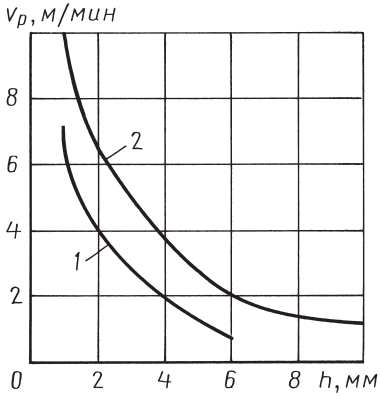


Рис. 10.26. Зависимость максимальной скорости резки от толщины разрезаемой низкоуглеродистой стали:
1 — $P = 625$ Вт; *2* — $P = 1250$ Вт

тельных органов, системы управления, электропривода и оценивается так же, как у металлорежущих станков. Наиболее существенными факторами, влияющими на размерные характеристики резов — ширину реза и ее отклонения, шероховатость поверхности реза, являются энергетические параметры процесса, к которым относятся мощность и плотность мощности.

Удобной величиной, характеризующей эффективность и качество процесса обработки, является комплексный параметр, представляющий собой отношение мощности излучения P к скорости резки: P/v_p, или же P/h (где h — толщина разрезаемого металла).

В качестве примера рассмотрим основные параметры процесса лазерной резки. При обработке различных материалов (рис. 10.25) скорость резки v_p пропорциональна мощности лазерного излучения. Зависимость скорости резки от толщины заготовки менее определена, поскольку допустимая скорость может ограничиваться качеством резки. Однако в общем случае выполняется соотношение $v_p \sim h^{-1}$ (рис. 10.26).

С ростом скорости параметр P/h, характеризующий затраты мощности на единицу глубины реза (параметр эффективности), возрастает (рис. 10.27). Важным фактором является плотность мощности $E(f)$, зависящей не только от мощности лазерног,о излучения, но и от условий его фокусирования, расходимости, модового состава луча и др.

На рис. 10.28 показаны графики изменения максимально достижимой глубины $h_к$ качественно выполненного реза в углеродистых сталях в зависимости от скорости обработки при различных условиях фокусирования. Как

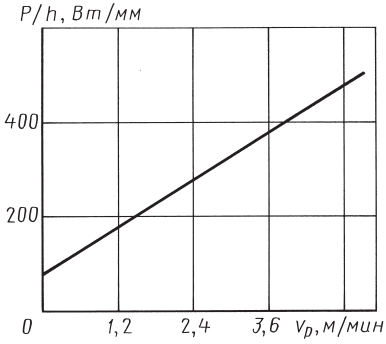


Рис. 10.27. Зависимость параметра P/h от скорости резки низкоуглеродистой стали

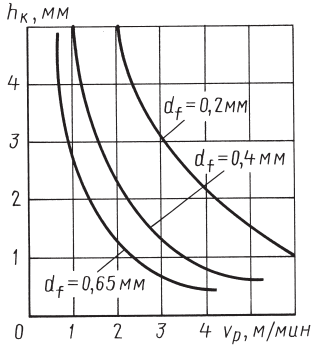


Рис. 10.28. Зависимость глубины качественно выполненного реза в углеродистых сталях от скорости резки и условия фокусирования

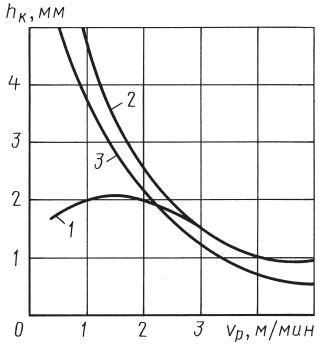


Рис. 10.29. Влияние скорости обработки на глубину реза $h_к$ в коррозионно-стойкой стали при различных условиях фокусирования:
1 — d_f = 0,2 мм; *2* — d_f = 0,4 мм; *3* — d_f = 0,65 мм

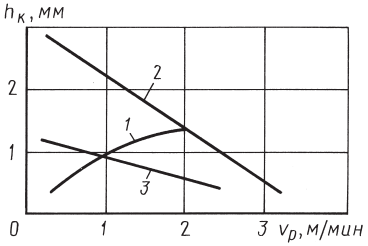


Рис. 10.30. Влияние скорости обработки на глубину реза $h_к$ в титане при различных условиях фокусирования:
1 — d_f = 0,2 мм; *2* — d_f = 0,4 мм; *3* — d_f = 0,65 мм

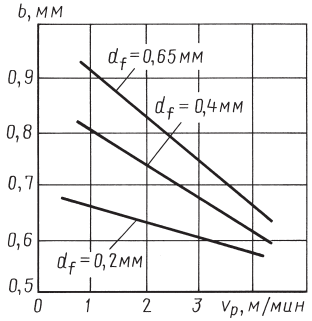


Рис. 10.31. Зависимость ширины реза в углеродистых сталях от скорости при различных условиях фокусирования

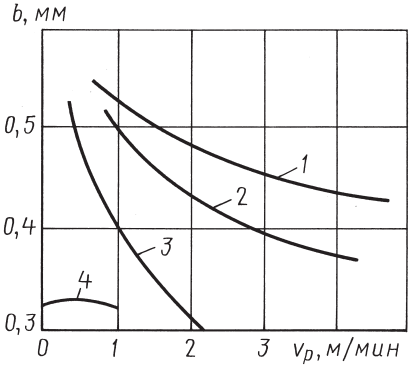


Рис. 10.32. Зависимость ширины реза от скорости в различных металлах:
1 — углеродистая сталь; *2* — коррозионно-стойкая сталь; *3* — титановый сплав; *4* — алюминиевый сплав

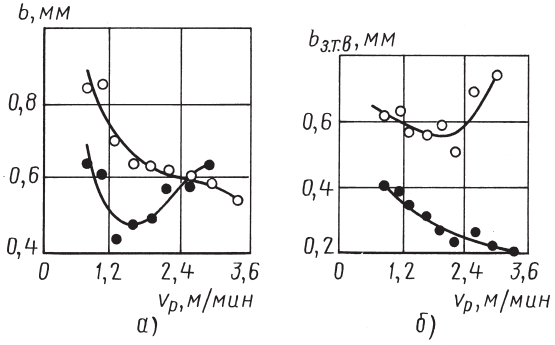


Рис. 10.33. Влияние скорости резки на ширину b реза (*а*) и зоны $b_{з.т.в}$ термического влияния (*б*) низкоуглеродистой стали:
h = 3 мм; P = 1,8 кВт; d_f = 0,25 мм; ∘ — верхняя часть реза; • — нижняя часть реза

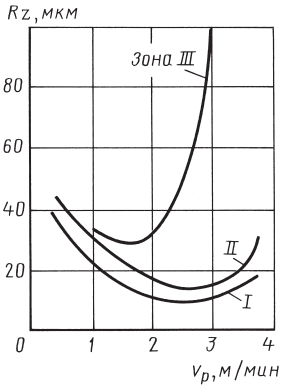


Рис. 10.34. Зависимость шероховатости поверхности реза в углеродистой стали от скорости резки при $P = 0{,}9$ кВт: *зона I* — на верхней кромке металла; *зона II* — внутри металла; *зона III* — на нижней кромке металла

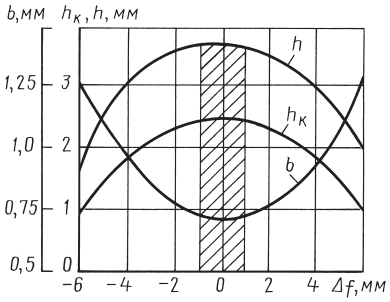


Рис. 10.35. Изменение глубины реза и его ширины в зависимости от условий фокусирования ($f = 100$ мм)

10.6. Технические характеристики лазеров

Параметр	Твердотельные			CO_2-лазеры			
	ЛТН-101	ЛТН-102	ЛТН-103	ИЛГН	ЛГН-702	ЛАТЧ-30	ТЛ-5М
Режим работы	Непрерывный			Импульсный	Непрерывный	Непрерывно-импульсный	Непрерывный
Мощность излучения, Вт	63	125	50	300…500	800	1500	6000
Расходимость лазерного излучения (полный угол), м · рад	10	10	2	2	3	5	1,2
Масса установки, кг	190	195	195	300	600	1500	5000
Занимаемая площадь, $м^2$	—	—	—	1	6	6	7
Потребляемая мощность, кВт	10	10	10	12	18	20	100

видно из графика, уменьшение диаметра фокального пятна d_f вызывает возрастание глубины качественно выполненного реза. Основной причиной такого роста глубины реза является повышение плотности энергии в зоне обработки.

На рис. 10.29—10.35 показаны зависимости основных показателей лазерной обработки от скорости резки, условий фокусирования для различных материалов (где h — глубина реза с низким качеством поверхности, $h_к$ — глубина реза с повышенным качеством поверхности, d_f — диаметр фокального пятна, f — фокусное расстояние линзы, Δf — расфокусирование). В табл. 10.6 приведены основные технические характеристики отечественных лазеров.

10.3.3. Технологическое оборудование для лазерной резки

Готовые детали с помощью лазерной резки получают на лазерных технологических комплексах, позволяющих в зависимости от назначения и состава входящих в него устройств обрабатывать изделия сложной, плоской и объемной форм. В общем случае комплекс для лазерной резки состоит из следующих частей (рис. 10.36): *I* — излучатель; *II* — координатное устройство (приводы относительных перемещений обрабатываемой заготовки и луча); *III* — система формирования и транспортирования излучения и газа; *IV* — автоматизированная система управления комплексом и технологическим процессом. Излучатель *I* предназначен для генерации лазерного излучения с необходимыми оптическими и энергетическими параметрами. В состав излучателя входят активная среда *1* (диоксид углерода, аргон и др.), зеркала резонатора *2*, элементы системы накачки *3* и устройство модуляции излучения *4*.

Координатное устройство служит для осуществления относительного перемещения луча и заготовки. В состав координатного устройства входят исполнительные органы — стол изделия и газолазерный резак, приводы подач, двигатели, датчики обратной связи.

Система *формирования и транспортирования излучения* осуществляет передачу пучка от излучателя к обрабатываемой заготовке *5* и с помощью фокусирующей системы *6* и системы *7* стабилизации *f* и Δ (см. рис. 10.24) создает необходимую плотность мощности. Кроме того, эта же система служит для формирования необходимых параметров режущего газа, направляемого в зону обработки через сопло резака *8* (см. рис. 10.36). В состав системы входят: поворотные зеркала *9*; оптические трансформаторы (объективы) *10*; устройство вращения плоскости

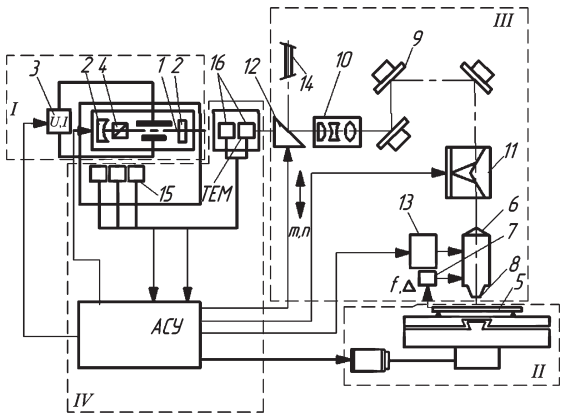


Рис. 10.36. Структурная схема станка для лазерной резки:
I — лазер: *1* — активная среда; *2* — зеркала резонатора; *3* — элементы системы накачки; *4* — устройство модуляции излучения; *II* — координатное устройство: *5* — заготовка; *III* — система формирования и транспортирования излучения и газа: *6* — фокусирующая система; *7* — система стабилизации положения фокальной плоскости и зазора; *8* — резак; *9* — зеркала; *10* — объектив; *11* — устройство вращения плоскости поляризации; *12* — оптический затвор; *13* — система подачи газа; *14* — юстировочный лазер; *IV* — автоматизированная система управления параметрами станка: *15* — датчики параметров лазера; *16* — система измерения параметров лазерного пучка

поляризации *11*; оптический затвор *12*; фокусирующая система *6*; система подачи газа *13*; юстировочный лазер (канал визуализации) *14*.

Автоматизированная система управления (АСУ) служит для контроля и управления параметрами лазера, для передачи команд на исполнительные механизмы системы формирования и транспортирования излучения и газа, для управления относительным движением обрабатываемой заготовки и резака. В состав АСУ входят: управляющая ЭВМ; подсистема датчиков *15* внутренних параметров лазера (давления, температуры, состава рабочей смеси и т.д.); датчики *16* параметров излучения (мощности, расходимости луча и т.д.), зазора; подсистема управления оптикой, затвором, координатным устройством.

Системы транспортирования излучения. Для передачи излучения в зону обработки используются различные способы преобразования лазерного пучка с помощью оптико-механических систем. Эти способы можно условно подразделить на две группы: с постоянной (рис. 10.37) и переменной (рис. 10.38) длиной оптического тракта от излучателя лазера до зоны обработки. Установки с постоянной длиной оптического тракта используются в основном для обработки заготовок небольших габаритов и массы. Для таких установок характерна стабильность плотности мощности излучения в зоне обработки.

Наиболее простым способом повышения точности и динамической устойчивости системы автоматического управления при повышении ее быстродействия является уменьшение массы подвижных элементов кинематической цепи. При обработке крупногабаритных заготовок этого можно достичь в установках, в которых обрабатываемый материал и излучатель неподвижны, а лазерное излучение передается в зону обработки с помощью системы подвижных оптических элементов (см. рис. 10.38).

При использовании лазерных технологических установок с изменяемой длиной оптического тракта повышаются производительность обработки и кинематическая точность вследствие уменьшения инерционности кинематической цепи, снижается стоимость изготовления и эксплуатации за счет уменьшения массы подвижных узлов, общих габаритов и занимаемой производственной площади, уменьшается мощность электродвигателей приводов. В результате основные технико-экономические показатели таких установок растут, однако при этом изменяется плотность мощности излучения в зонах обработки, расположенных на различном удалении от излучателя, и, следовательно, снижается точность

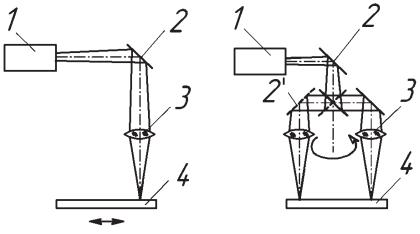


Рис. 10.37. Способы передачи лазерного излучения в зону обработки с постоянной длиной оптического тракта:
1 — лазер; *2* — зеркала; *3* — объектив; *4* — заготовка

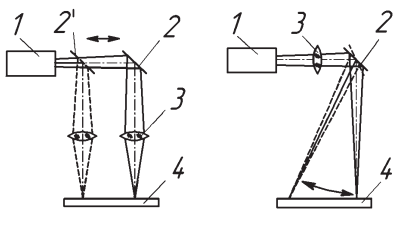


Рис. 10.38. Способы передачи лазерного излучения в зону обработки с переменной длиной оптического тракта:
1 — лазер; *2* — зеркала; *3* — объектив; *4* — заготовка

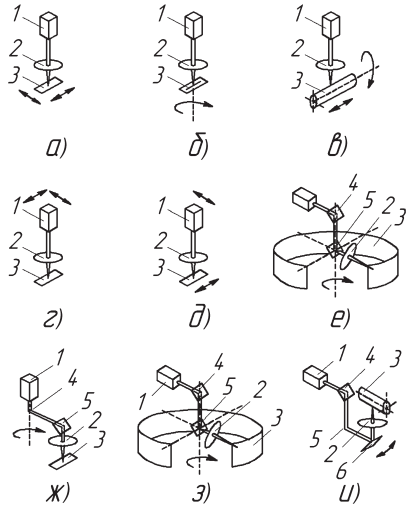


Рис. 10.39. Схемы передачи лазерного излучения в зону обработки с постоянной длиной оптического тракта:
1 — лазер; *2* — объектив; *3* — заготовка; *4—6* — зеркала

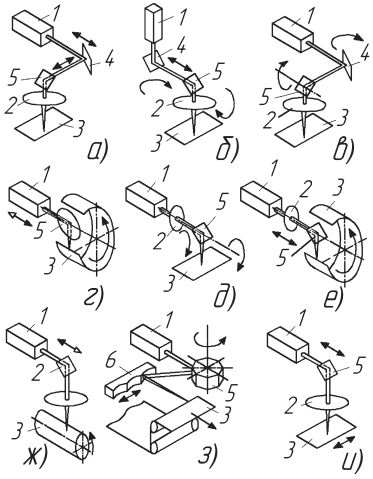


Рис. 10.40. Схемы передачи лазерного излучения в зону обработки с переменной длиной оптического тракта:
1 — лазер; *2* — объектив; *3* — заготовка; *4, 5* — зеркала

обработки. При повышенных требованиях к точности обработки необходимо принимать специальные меры для уменьшения изменения плотности мощности излучения в зоне обработки: уменьшение расходимости излучения; коррекцию пространственной структуры лазерного пучка с помощью оптико-механических систем; изменение параметров относительного движения резака и заготовки.

Рассмотрим различные варианты передачи излучения в зону обработки. Простейшие схемы установок с постоянной длиной оптического тракта показаны на рис. 10.39 (*а—е*), в которых относительное смещение резака и заготовки формируется элементарными движениями заготовки и (или) лазера. Однако при обработке крупногабаритных заготовок это является недостатком, так как необходимо перемещать лазер и обрабатываемые заготовки, имеющие значительные габариты и массу. Кроме того, к подвижному лазеру необходимо подводить кабели высокого напряжения и систему шлангов для подачи охлаждающей жидкости, режущего газа и др., т.е. перемещение мощных лазеров становится конструктивно нецелесообразным.

Для исключения перемещения лазера и заготовки излучение передается в зону обработки с помощью системы зеркал или призм и объектива, вращающихся вокруг оси лазерного пучка (рис. 10.39, *ж—и*). Эти схемы имеют ограниченное применение: для обработки только круглых и цилиндрических заготовок. Для расширения технологических возможностей лазерных установок с неподвижным лазером при обработке крупногабаритных и массивных заготовок нашли широкое применение установки с переменной длиной оптического тракта. Ряд схем передачи излучения в таких установках показан на рис. 10.40. Относительное перемещение резака и заготовки при неподвижном лазере обеспечивается поступательными и вращательными движениями зеркал *4*, *5* и объектива *2* (рис. 10.40, *а—е*). В некоторых случаях при обработке длинномерных материалов — в рулонах, легких длинных труб

и др. — целесообразно использовать и движение заготовки по одной из координат (рис. 10.40, *ж—и*). Для того чтобы осуществить обработку деталей объемной формы, необходимо обеспечить пять степеней свободы относительного перемещения резака и заготовки. Такие случаи можно реализовать комбинацией рассмотренных вариантов.

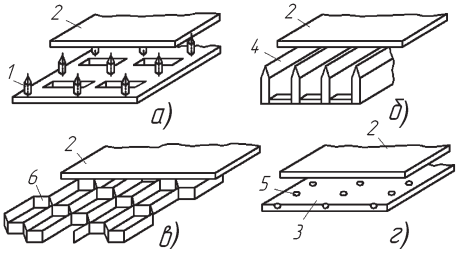


Рис. 10.41. Рабочая поверхность стола: *1* — стержни; *2* — заготовка; *3* — стол; *4* — пластины; *5* — шарики; *6* — сотовые панели

Несущие системы лазерных установок. Основные узлы установок для лазерной резки: приводы подач, технологическая оснастка, несущая система, система управления. Приводы подач включают в себя регулируемые электроприводы, редукторы (безлюфтовые) и конечные кинематические пары (шариковинтовые передачи, реечные передачи и др.). Основные требования к приводам подач: высокие точность и жесткость, минимальные размеры и масса, технологичность.

Технологическая оснастка состоит из лазера, системы передач и фокусирования излучения, резака. В систему передачи и фокусирования излучения входят отражающие зеркала с юстирующими устройствами и фокусирующие объективы.

Несущая система включает в себя:

• основание сварное или литое, иногда из гранита или мрамора для снижения вибраций и влияния колебаний температуры на точность работы машины;

• направляющие продольного и поперечного перемещений, как правило, качения, для снижения сил трения и повышения точности позиционирования;

• портал (раму) для крепления направляющих и привода подач поперечного хода;

• каретку поперечного хода, на которой базируется резак, рабочий стол, поверхность которого выполняется в виде точечных или линейных элементов для защиты от воздействия лазерного излучения (рис. 10.41).

Система управления включает в себя устройство ЧПУ на базе микроЭВМ, датчики обратной связи, соединительные кабели, пульт управления.

Типовые схемы лазерных станков. Схемы типичных машин для лазерной резки приведены на рис. 10.42. В машинах, выполненных

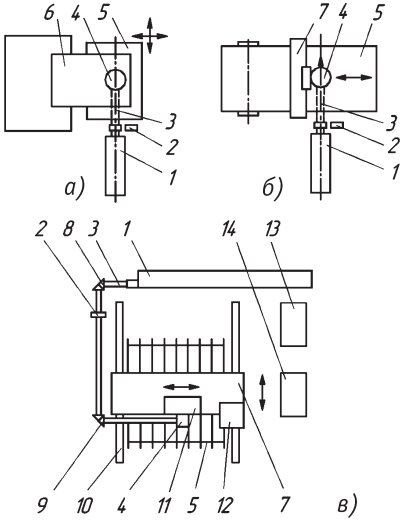


Рис. 10.42. Типовые схемы станков для лазерной обработки плоских заготовок: *1* — лазер; *2* — затвор; *3* — излучение; *4* — резак; *5* — заготовка; *6* — станина; *7* — портал; *8* — неподвижное поворотное зеркало; *9* — подвижное поворотное зеркало; *10* — направляющая портала; *11* — каретка поперечного хода; *12* — пульт управления; *13* — УЧПУ; *14* — электрооборудование

по схеме (рис. 10.42, *а*), в продольном и поперечном направлениях перемещается заготовка *5*. На станине *6* смонтирован неподвижный оптический резак *4* над подвижной заготовкой *5*. Излучение *3* от неподвижного лазера *1* передается в оптический резак и фокусируется на поверхности заготовки. Для прерывания процесса резки служит затвор *2*, который перекрывает луч. Приведенная схема реализуется на базе револьверных дыропробивных прессов или вертикально-фрезерных станков с ЧПУ. Преимущества описанной схемы — небольшая и постоянная длина оптического тракта, недостаток— ограниченные габариты обрабатываемых заготовок.

В станках, выполненных по схеме (см. рис. 10.42, *б*), в продольном направлении перемещается лента — или лист — заготовка *5*, в поперечном — оптический резак *4* по неподвижному порталу *7*. Излучение от лазера *1* посредством зеркала направляется в оптический резак, в котором фокусируется на поверхности заготовки. Оптический затвор служит для прерывания процесса резки. Преимущества схемы — возможность обработки длинномерных заготовок при незначительном увеличении оптического тракта.

В машинах, выполненных по схеме рис. 10.42, *в*, оптический резак *4* перемещается по порталу *7*, который движется по направляющим над неподвижным обрабатываемым листом *5*, расположенным на рабочем столе. Излучение *3* от лазера *1* с помощью зеркал *8*, *9* передается в оптический резак *4*, где фокусируется на поверхность заготовки. Схема на рис. 10.42, *в* часто реализуется в конструкциях машин для лазерной резки, маркировки и разметки. Преимущества — возможность обработки крупногабаритных заготовок и высокая скорость перемещения, недостаток — большая и переменная длина оптического тракта.

Возможны различные модификации рассмотренных вариантов. Например, в станках, выполненных по схемам рис. 10.42, *б* и *в*, можно изменять расположение лазера *1*, установив его на портале *7* или даже на подвижной каретке поперечного хода *11* (в случае использования твердотельного лазера небольшой мощности). Для обработки объемных заготовок создают лазерные установки на базе промышленных роботов с соответствующим числом степеней свободы.

Следует отметить также использование лазера в качестве дополнительного инструмента в металлорежущих станках. Это позволяет не только расширить технологические возможности станков, но и существенно повысить производительность металлообработки, например, за счет совмещения операций механической обработки и термообработки (закалка, отпуск и т.д.). При работе на лазерных станках необходимо соблюдать повышенные требования к безопасности работы на них и соответствующие требования к конструкциям. Наличие мощного лазерного излучения, вредно влияющего на человека, требует полной и надежной защиты оптического тракта и зоны обработки. Наличие интенсивных испарений обрабатываемых материалов требует вытяжную вентиляцию. Эти факторы могут оказать решающее влияние при выборе конструктивной схемы лазерного станка.

Конструкция лазерного станка с ЧПУ мод. 4Р222Ф2. Лазерный станок мод. 4Р222Ф2 оснащен системой ЧПУ 2М43-22 на базе микроЭВМ «Электроника-60» и предназначен для размерной обработки металлов и различных заготовок из труднообрабатываемых материалов: алмазных волок, инструмента из эльбора,

керамики и др. В станке использован твердотельный оптический квантовый генератор (лазер) большой импульсной мощности. Фокусирование излучения на деталь позволяет достигать плотности мощности $10^7...10^8$ Вт/см^2, при которой происходит испарение практически любых материалов. Технические характеристики станка мод. 4Р222Ф2 приведены ниже.

Энергия излучения, Дж, не более 2
Частота следования импульсов, Гц . . . . . 5...20
Длительность импульса, мкс . . . . . 150...250
Длина волны излучения, мкм 0,6943
Диаметр обрабатываемых отверстий, мкм 50
Глубина отверстий при многоимпульсной обработке, мм, не более 5
Глубина резания при многопроходной обработке, мм, не более 3
Перемещение фокусирующего объектива, мм, не более 50
Перемещения координатного стола, мм, не более . . . . . 300×100
Перемещение на 1 импульс, мкм 2
Рабочая скорость перемещения стола, мм/мин . . . . . 0,1...200

Основные узлы станка. Станок выполнен по принципу узловой сборки (рис. 10.43). Каждый узел собирается и отлаживается отдельно. На литую станину *23* устанавливается корпус с механизмом перемещения *15* правой *14* и левой *22* кареток зеркал резонатора, перемещающихся по направляющим скалкам. На скалках внутри резонатора установлена диафрагма (электромагнитный затвор) *18*, которая перемещается вручную вдоль оси квантрона *16*, установленного на корпусе механизма перемещения *15*. Вне резонатора на скалках установлена призма Дове *20*. Каретки *14* и *22* несут на себе механизмы юстирования зеркал резонаторов *13* и *19*. Перевод излучения в вертикальную плоскость осуществляется зеркалом *11*, установленным на кронштейне в передней части станины. Там же установлена система визуального наблюдения *10* и измеритель энергии *12*. К нижней плоскости кронштейна крепится механизм *9* перемещения объектива с устройством защиты объектива *7*. Вся оптическая система станка закрывается общим сдвигающимся кожухом *17*.

Координатный стол *4* с приводами *3* расположен внутри шумопоглощающего кожуха *8*. В кронштейне стола смонтирован дистанционный пульт управления *5*. На столе устанавливается рабочий столик *2* для крепления заготовки. Для установки прибора (автоколлиматора), служащего для юстирования лазера, к станине крепится кронштейн *21*.

Для соединения станка с блоком питания, системой охлаждения, УЧПУ, воздушной сетью на задней стенке станка имеются блок разъемов *26* и панель штуцеров *27*. Штуцер *24* пред-

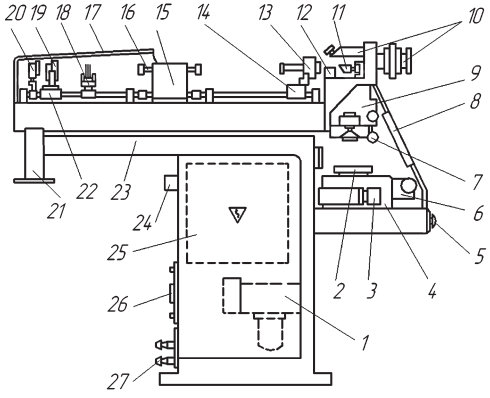


Рис. 10.43. Общий вид станка мод. 4Р222Ф2

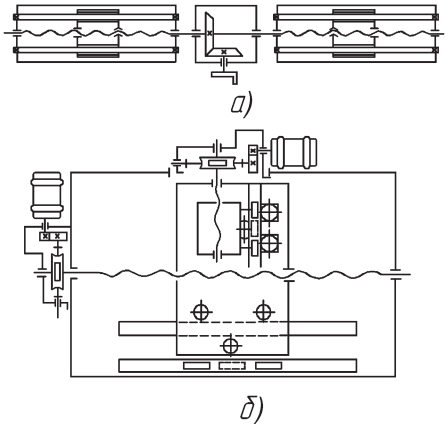


Рис. 10.44. Кинематическая схема станка мод. 4Р222Ф2

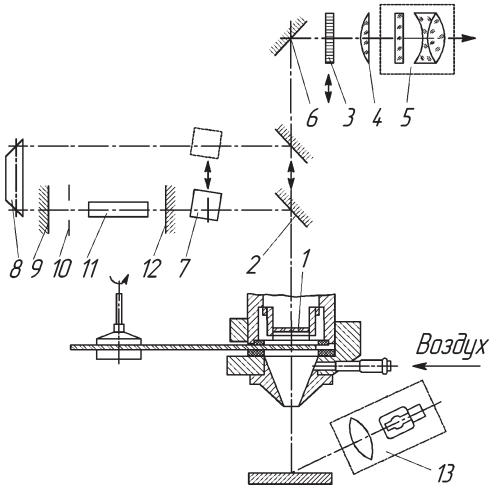


Рис. 10.45. Оптическая схема станка мод. 4Р222Ф2

назначен для подключения станка к системе вытяжки. Внутри станины расположены электрооборудование станка *25* и устройство *1* для очистки и редукции сетевого воздуха.

Кинематика станка. Кинематическая схема состоит из трех самостоятельных схем, обеспечивающих наладку и эксплуатацию станка. Кинематическая схема перемещения кареток (рис. 10.44, *а*) обеспечивает наладку необходимой длины резонатора. Кинематическая схема координатного стола (рис. 10.44, *б*) обеспечивает перемещение обрабатываемой заготовки во взаимно-перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости. Кинематическая схема перемещения объектива (см. ниже рис. 10.46) обеспечивает управление объективом от УЧПУ с одновременной защитой его от продуктов разрушения обрабатываемого материала.

Оптическая схема. Оптическая схема станка (рис. 10.45) состоит из двух каналов — силового и визуального. Силовой канал позволяет проводить обработку как с использованием проекционного метода (размер и форма обрабатываемого отверстия определяются размером и формой светового пятна на заготовке), так и при установке заготовки в фокальную плоскость объектива *1* (размер и форма обрабатываемого отверстия определяются траекторией относительного движения луча и заготовки).

При использовании проекционного метода излучение выходит через зеркало резонатора *9* с коэффициентом отражения 50% на длине волны $\lambda = 0{,}69$ мкм от активного элемента *11*. С помощью призмы Дове *8* и зеркала *2* (крайнее верхнее положение) излучение подводится к фокусирующему объективу *1*. Размер светового пятна на заготовке (размер обрабатываемого отверстия) определяется соотношением $d_{св} = Df/(L-f)$, где D — диаметр отверстия в сменной диафрагме *10*; f — фокусное расстояние объектива *1*; L — расстояние (регулируемое) между объективом *1* и диафрагмой *10*.

Плоскость заготовки расположена ниже фокальной плоскости на расстоянии

$$\Delta = f^2/(L-f).$$

При установке в фокальную плоскость излучение через выходное зеркало резонатора *12* и зеркало *2* (крайнее нижнее положение) подводится к фокусирующему объективу *1*. Размер светового пятна (минимально возможный) определяется из соотношения $d = f\alpha$, где α — расходимость излучения. Средняя мощность излучения измеряется фотодиодом *7*, перед которым установлено интерференционное зеркало, ослабляющее излучение.

Визуальный канал служит для установки детали в зону обработки. Он образован фокусирующим объективом *1*, зеркалом *6* и телескопической трубкой, состоящей из линзы *4* и окуляра *5*. Заслонка *3* автоматически перекрывает визуальный канал при работе лазера для предохранения глаз оператора от излучения. Конденсор *13* служит для освещения детали.

Резак. Одним из важнейших элементов лазерного станка является резак, схема которого показана на рис. 10.46. Резак служит для перемещения объектива по вертикали для установки сфокусированного излучения и подачи газа в зону обработки, а также для защиты объектива от продуктов разрушения. От двигателя *21* приводится во вращение пара червяк *20* — червячное колесо *16*. При вращении червячного колеса *16* в подшипниках *17* шпиндель *18* перемещается по резьбе в вертикальном направлении (ход 50 мм) и фиксируется от поворота шпонкой *23*. Однолинзовый объектив *2* устанавливается и закрепляется втулкой *1* и гайкой *4*. С помощью лампы *19* и светодиода *22* проводится контроль перемещения объектива системой ЧПУ.

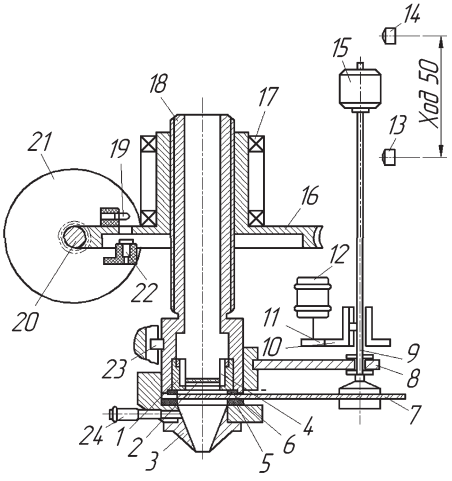


Рис. 10.46. Механизм перемещения объектива

Защита объектива от продуктов разрушения осуществляется конической втулкой *3*, в прорезь которой входит плексиглазовый диск *7*. Диск *7* приводится во вращение (для его охлаждения) двигателем *12* через шестерни *10* и *11*. Вилка *8* обеспечивает одновременное вертикальное перемещение диска и шпинделя. Кулачок *15*, закрепленный на оси *9* посредством конечных выключателей *13* и *14*, обеспечивает отключение двигателя *21*. Для защиты диска *7* от продуктов разрушения через штуцер *24* подается сжатый воздух. Уплотнение и очистка диска осуществляются фетровыми кольцами-прокладками *5* и *6*. Остальные узлы лазерного станка (направляющие, приводы подач стола, несущая система) имеют типовые конструкции для металлорежущих станков.

10.4. Станки для водоабразивной обработки

Общие сведения. Под системой водоабразивной обработки подразумевается резка материалов струей воды (для мягких материалов) или струей воды с абразивом — при обработке твердых материалов (водоабразивная обработка). При водоструйной резке вода подается под высоким давлением (порядка 400 МПа) от насоса мультипликатора. Вода на выходе из сопла при скорости около 1000… 1200 м/с является носителем энергии, которая и обусловливает обработку материала. Важным преимуществом водоструйной обработки является то, что может быть разрезан любой (в том числе многослойный) материал весьма большой толщины (до 200 мм и более).

10.4.1. Основные особенности водоабразивной обработки

Основные особенности водоабразивной обработки приведены ниже.

• *Отсутствие термического воздействия* (холодное резание, так как генерируемое в процессе резания тепло уносится водой). Невысокая температура в зоне резания 60…90 °С исключает деформацию заготовки, оплавление и пригорание материала, что является решающим фактором при обработке материалов, особо чувствительных к нагреванию.

• *Небольшая сила резания* (до 100 Н), в том числе тангенциальной составляющей, благодаря чему часто исключается необходимость зажима заготовки.

• *Универсальность обработки.* Водоабразивное резание эффективно как при обработке многих труднообрабатываемых материалов (титановых сплавов, высокопрочной керамики, стали и т.п.), так и мягких (листовой резины, картона, линолеума, кожи, бумаги, древесных плит и др.), а также конструкций типа «сэндвич». Водоабразивные технологии позволяют решить проблемы фасонного резания стекла и облицовочного материала (мрамора, гранита, керамики, кафельной плитки и др.), а также профильного вырезания древесных плит в мебельном производстве, в том числе путем ввода управляющей программы непосредственно с рисунка или чертежа изделия. Существует ряд материалов (например, сотовые панели, титановая губка, асбестовое полотно и т.п.), которые вообще нельзя качественно разрезать другими методами из-за смятия, оплавления или «размочаливания» кромки реза. Чрезвычайно актуально использование водоструйных установок для удаления наружного резинового слоя с металлорукавов высокого давления в целях их качественной заделки в соединительную арматуру, разрезание вредных и взрывоопасных материалов, подготовленных к утилизации, отработавших ресурс автомобильных покрышек и др. При водоабразивной обработке можно воспроизводить сложные формы или скосы под любым углом. Струя жидкости по своим техническим возможностям приближается к идеальному точечному инструменту, что позволяет обрабатывать сложные профили с любым радиусом закругления.

На рис. 10.47 приведены некоторые детали, полученные водоабразивной обработкой.

• *Хорошее качество поверхности и широкие технологические возможности процесса.* Рез может начинаться в любой точке поверхности изделия; не нужно предварительно делать отверстие и не требуется перетачивать инструмент. Срав-

нительно небольшая ширина реза (0,1…0,3 мм при резании водой и 1…1,5 мм при водоабразивном резании) обеспечивает экономию материала и снижение электрозатрат. При финишной обработке можно достигнуть шероховатости поверхности *Ra* 0,5…1,5. Поверхность реза не имеет заусенцев и исключается изменение структуры материала.

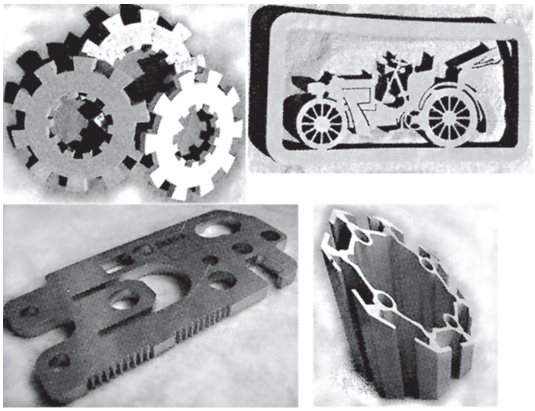


Рис. 10.47. Детали, полученные водоабразивной обработкой

• *Экологическая чистота и безопасность процесса*. Процесс взрыво- и пожаробезопасен, отсутствуют радиационное излучение и опасность распространения в окружающей среде шлаковых или мелкодисперсных частиц; исключается необходимость улавливания отработанной струи.

• *Экономическая эффективность процесса.* По данным ряда фирм, экономический эффект достигается при обработке алюминия толщиной более 10 мм и стали — более 15 мм, а наилучшие результаты получены при обработке изделий из камня и древесных панелей. Средние эксплуатационные расходы составляют около 0,26 долл. США в минуту. До 50% затрат при водоабразивном резании приходится на абразив, поэтому используется система его рекуперации.

Оценка различных методов резания листовых материалов по пятибалльной системе приведена в табл. 10.7.

10.7. Оценка метода резания

Критерий оценки	Водоабразивный	Лазерный	Плазменный	Кислородный
Ширина реза	5	2	4	5
Качество реза	5	5	2	2
Скорость резания	4	5	4	4
Точность резания	5	5	4	3
Образование шлама	4	2	2	4
Общее время обработки	4	4	3	2
Технологическая гибкость	5	4	2	3
Универсальность	5	3	4	2

Режимы обработки и особенности процесса. Точность обработки материала толщиной до 50 мм около 0,2 мм, точность обработки листовой стали составляет около 0,05 мм. В отличие от лазера абразивная струя не теряет фокус, поэтому когда происходит резка изделий с неровной поверхностью, не требуется очистки поверхностей от окалин. Шероховатость обрабатываемой поверхности

существенно зависит от скорости обработки (среднее значение *Rz* 40…160). Основным параметром процесса является его производительность или скорость резания различных материалов в зависимости от толщины заготовки. Некоторые данные водоабразивной обработки при использовании абразива — граната (при его расходе около 700 г/мин) приведены в табл. 10.8.

10.8. Скорости резания, мм/мин, при водоабразивной обработке

Разрезаемый материал	Толщина материала, мм			
	5	10	20	50
Мрамор	4500	2500	1100	390
Гранит	3500	1600	700	250
Стекло	6000	2600	1300	450
Алюминий	2000	1000	450	150
Титан	1000	500	200	70
Коррозионно-стойкая сталь	250…700	110…300	50…150	20…45
Конструкционная сталь	300…600	150…300	60…120	20…40

В табл. 10.9 приведены скорости резания мягких материалов при обработке струей воды (без абразива).

10.9. Скорость резания (м/мин) при обработке струей воды

Разрезаемый материал	Толщина материала, мм		
	2	5	10
Резина	25	—	10
Полиуретан	20	8	3
Поливинилхлорид	6	2	0,8
Фанера	25	4	0,5
Пенопласт	—	—	25

10.4.2. Составные части и характеристики оборудования

При резании струей вода истекает из сопла диаметром 0,1…0,2 мм со скоростью около 1000 м/с. При водоабразивном резании струя из сопла пропускается через пассер — твердосплавную трубку малого диаметра (порядка 1 мм), причем благодаря эжекции на входе в пассер подсасывается абразивный порошок из специального бункера. Кинетическая энергия водяной струи передается частицам абразива, которые снимают микростружку с разрезаемой заготовки. При мощности резания до 30 кВт и более рабочая головка свободно удерживается руками или захватным устройством робота. Серьезными недостатками являются низкая стойкость пассеров (около 150 ч) и дефицит абразивного материала.

Водоабразивная рабочая головка осуществляет окончательное формирование высоконапорной струи как режущего инструмента и содержит пневматический отсечной клапан, сопло, смесительную камеру, пассер и юстировочные устройства. Юстировка сопла — трудноконтролируемая высокоточная операция при

установке сменных деталей, призванная обеспечить строгую соосность водяной струи и оси внутреннего отверстия пассера, так как отклонение от соосности резко снижает долговечность последнего. Фирма Jnqersoll-Rand (Германия) использует алмазные сопла с диаметром отверстия 0,17; 0,25; 0,3 и 0,35 мм, долговечность которых в 20 раз превышает долговечность сопел из сапфира. Пассеры с диаметром проходного сечения 0,54; 0,76; 1,1 и 1,6 мм и длиной 50,8 и 70 мм рассчитаны на 80…120 ч эксплуатации.

На рис. 10.48 приведена схема рабочей головки фирмы Jnqersoll-Rand. Особенностью является применение быстросъемного картриджа, содержащего сопло, смесительную камеру и пассер, что позволяет исключить юстировку головки при замене изношенных деталей, обеспечивает соосность водяной струи и отверстия пассера, и благодаря этому существенно повышается долговечность головки.

Установки фирмы Bystronic (Швейцария) могут оснащаться несколькими рабочими головками. Одну и ту же головку можно использовать для резания как водяной, так и водоабразивной струей. Головки оснащены датчиками высоты и регуляторами оптимальной подачи абразива. В процессе резания вакуумный насос подает абразив из бункера в промежуточный дозирующий узел, расположенный непосредственно на рабочей головке. Из прозрачного цилиндрического сосуда абразив подается в смесительную камеру с помощью шнекового дозатора, управляемого УЧПУ. Один из основных узлов водоструйной установки — агрегат высокого давления, который состоит из бака гидропривода, регулируемого насоса с приводным электродвигателем, одного или нескольких мультипликаторов давления, ресивера, гидроаппаратуры, систем кондиционирования (фильтрации и охлаждения) масла, вспомогательного насоса подачи технологической воды, фильтров ее тонкой очистки (1…3 мкм) и электрошкафа управления.

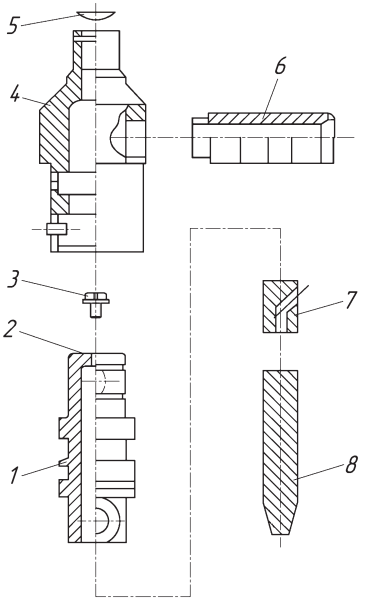


Рис. 10.48. Рабочая головка фирмы Juqersoll-Rand:
1 — сменный картридж; *2* — поверхность для монтажа сопла; *3* — сопло; *4* — корпус; *5* — уплотнительное кольцо; *6* — ниппель; *7* — смесительная камера; *8* — пассер

В мультипликаторах двустороннего действия (рис. 10.49) масло от насоса *1* через распределитель *2* подается в гидроцилиндр *6* низкого давления (12…16 МПа), заставляя его поршень двигаться вместе с поршнями гидроцилиндров *5* высокого давления. Благодаря соотношению рабочих площадей поршней гидроцилиндров низкого и высокого давления (20…30) : 1 обеспечивается соответствующее повышение давления воды. В результате технологическая вода под давлением 0,8…1 МПа заполняет гидроцилиндры высокого давления через нижние клапаны *4* и через верхние клапаны вытесняется в ресивер *7* и рабочую головку *8*.

Ресивер сглаживает пульсацию давления при реверсах поршня и гидроцилиндра *6*. Пульсация давления на входе в рабочую головку не должна

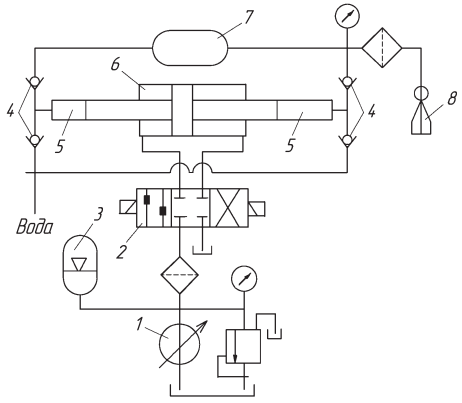


Рис. 10.49. Схема гидропривода с мультипликатором двустороннего действия

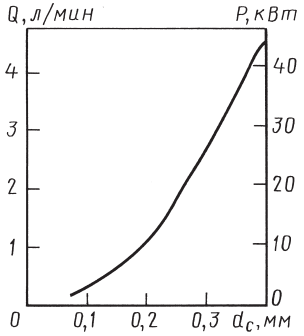


Рис. 10.50. График для определения подачи Q технологической воды и мощности привода в зависимости от диаметра сопла d_c (при давлении воды 380 МПа)

превысить 5%. В связи с этим вместимость ресивера необходимо выбирать, учитывая, что сжатие воды в гидроцилиндре высокого давления составляет около 20% при давлении 400 МПа. Поскольку ресивер — металлический сосуд высокого давления, в современных агрегатах его стараются не применять. Для уменьшения пульсации давления в напорной линии насоса обычно устанавливают аккумулятор *3* вместимостью около 2,5 л.

Основные параметры (подачу Q технологической воды и мощность P привода) водоструйных установок определяют в зависимости от диаметра d_c сопла (рис. 10.50) с учетом КПД гидросистемы, который обычно не превышает 0,65. Как правило, увеличение подачи воды достигается благодаря установке дополнительного (второго) стандартного мультипликатора. Гидроцилиндры высокого давления имеют сквозное гладкое внутреннее отверстие (без концентратов напряжений) и крышки с обратными клапанами.

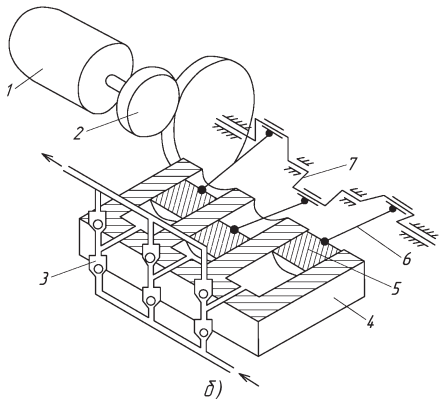


Рис. 10.51. Схема установки трехплунжерного насоса с кривошипно-шатунным механизмом:
1 — электродвигатель; *2* — зубчатый редуктор; *3* — клапаны; *4* — блок цилиндров; *5* — плунжер; *6* — шатун; *7* — коленчатый вал

Применяется также механический привод плунжеров — посредством кривошипно-шатунного механизма (рис. 10.51). Плунжеры *5* приводятся в движение от кривошипно-шатунного механизма *6*, *7*, связанного с электродвигателем *1* через зубчатый редуктор *2*. Жесткая механическая синхронизация позволяет существенно уменьшить пульсации потока воды, и ресивер поэтому не требуется. Другими преимуществами механического привода поршней являются высокий КПД (95% и выше), а также низкий шум.

Недостатки установок с механическим приводом поршней связаны с их быстроходностью. Если частота реверсов устройств с гидроприводом не превышает

1…2 Гц, то в кривошипно-шатунных приводах она достигает 30 Гц (линейные скорости движения плунжера примерно в 5 раз больше). Одновременно возрастают усталость металла и износ клапанов, падает долговечность уплотнений. В настоящее время при давлении до 400 МПа удается создать установки высокого давления, выдерживающие до 10 млн циклов нагружения. Для повышения долговечности работы клапанов запорные элементы выполняют из керамики, степень адгезии которой со стальным седлом мала. Долговечность эластомерных уплотнений не превышает 500 ч.

Эффективность процесса водоструйного резания в значительной степени зависит от величины рабочего давления p. Уже при $p = 300$ МПа напряжение на внутренней поверхности достигает предела текучести большинства конструкционных материалов. Это требует применения высокопрочных коррозионностойких сталей типа ЭП817 ($\sigma_т = 800$ МПа; $\sigma_{вр} = 950$ МПа). В толстостенном цилиндре под давлением развиваются радиальные σ_r, осевые σ_α и тангенциальные σ_t напряжения. На внутренней стенке цилиндра $\sigma_{rв} = -p$; $\sigma_{\alpha в} = p/(K^2-1)$; $\sigma_{tв} = P(K^2+1)/(K^2-1)$, где p — рабочее давление; $K = D_н/D_в$; $D_н$ и $D_в$ — наружный и внутренний диаметры цилиндра. Например, при $D_н = 90$ мм, $D_в = 25{,}5$ мм получаем $K = 353$. При $p = 350$ МПа $\sigma_{rв} = 350$ МПа, $\sigma_{\alpha в} = 30{,}54$ МПа, $\sigma_{tв} = 411{,}08$ МПа.

Три основных взаимно-перпендикулярных напряжения создают сложное напряженное состояние в стенке цилиндра. Для высокопрочных вязких конструкционных сталей результирующее эквивалентное напряжение на внутренней стенке цилиндра может быть представлено в виде

$$\sigma_{rв} = p\frac{K^2\sqrt{3}}{K^2-1} = 659{,}11 \text{ МПа}.$$

Если принять $\sigma_э = \sigma_т$ (где $\sigma_т$ — предел текучести материала), то предельно допустимое давление

$$p_{max} = \frac{K^2-1}{K^2\sqrt{3}} = 0{,}53\sigma_т.$$

Агрегаты высокого давления (с давлением до 420 МПа) фирм Waterjet Services Inc (США) и Projet AB (Швеция) отличаются сравнительно небольшой частотой

10.10. Основные параметры агрегатов высокого давления фирмы Yngersoll-Rand

Параметр	A4.30ТД	A4.50.ТД	A4.Д100.ТД
Мощность, кВт	22	37	75
Подача технологической воды, л/мин	2,3	3,8	7,6
Диаметр сопла, мм, не более	0,28	0,35	2×0,35
Расход охлаждающей воды (при 20°С), л/мин	3,8	8	12
Вместимость бака для масла, л	106	106	208
Подача насоса гидросистемы, л/мин	65	114	228
Число мультипликаторов	1 (2)	1 (2)	2 (4)
Габариты агрегата (длина×ширина×высота), мм	1721×916×1448	1721×914×1448	2032×1270×1448
Масса, кг	1160	1195	1600

двойных ходов (не более 20 дв. ход/мин). Контроль хода осуществляется высоконадежными бесконтактными выключателями.

Основные параметры агрегатов высокого давления фирмы Yngersoll-Rand приведены в табл. 10.10. Рабочее давление составляет 380 МПа.

Система подачи абразива. Используются два варианта подачи абразива: вакуумная (работающая по принципу пульверизатора) и подача под давлением. Абразив засыпается в бункер, находящийся рядом с рабочим столом, и подается к рабочей головке, как правило, по гибким шлангам. В качестве абразива используют гранатовый песок. Основные характеристики бункера фирмы PTV (Чехия) приведены ниже.

Габариты бункера, мм . . . . . 940×940×1890
Масса, кг . . . . . 160 (без абразива)
Максимальное/минимальное давление воздуха, МПа 0,7/0,3
Объем бункера, кг (абразива) 80

Компоновки станков. Существуют различные варианты компоновок водоструйного оборудования, в том числе в виде роботизированных комплексов, установок с поворотным столом и др. Однако наиболее распространены компоновки с подвижным или неподвижным порталом. В первом случае (рис. 10.52, *а*) по подвижному порталу *1* (ось *Y*) перемещается каретка *2* (ось *X*) с рабочей головкой *3*. Вертикальное перемещение головки (ось *Z*) осуществляется вручную или с помощью программируемого (в том числе следящего) электромеханического привода. Подобное решение отличается простотой конструкции и компактностью. К недостаткам можно отнести трудности гашения остаточной энергии струи на выходе из заготовки, а также проблему базирования последней.

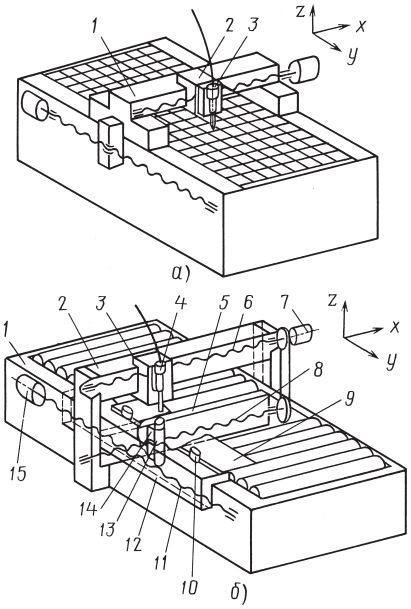


Рис. 10.52. Типовые компоновки водоструйных установок с подвижным (*а*) и неподвижным (*б*) порталом

В ряде установок с подвижным порталом [например, фирм Bystronic, Waterjet (Италия)] предусмотрена дополнительная угловая координата. Это дает возможность обрабатывать трубчатые заготовки, в том числе некруглого профиля при наличии достаточно быстродействующего следящего привода перемещения рабочей головки на оси *Z*. Гашение остаточной энергии струи (весьма значительной) происходит в открытой ванне, расположенной под столом, что ухудшает экологическую обстановку. Ванну необходимо периодически очищать от шлама с помощью скребковых конвейеров, шнековых транспортеров, гидроциклонов и др. Стол для базирования может быть выполнен в виде решетки из коррозионно-стойких пластин, проволочной сетки, острозаточенных штырей; поверхность стола может быть образована сыпучими материалами и др. Подобные

столы достаточно дороги и сравнительно недолговечны из-за износа, связанного с воздействием струи. Установки с подвижным порталом целесообразно использовать для обработки массивных изделий, перемещение которых в процессе резания нежелательно.

У компоновки с неподвижным порталом (рис. 10.52, *б)* в центре прямоугольной рамы *1* закреплены портал *2* и поперечина *5*, несущая каретку *14* с ловушкой струи *13*. По порталу перемещается каретка *3* с рабочей головкой *4*. Синхронное перемещение кареток *3* и *14* серводвигателя *7* (ось *X*) реализуется, например, с помощью шариковых винтовых передач (ШВП) *6* и *8*, связанных между собой зубчатой ременной передачей. На передней стенке рамы предусмотрены направляющие для каретки *12*, перемещаемой ШВП *11* с приводом от серводвигателя *15* (ось *Y*). К каретке *12* с помощью пневмоцилиндров *10* крепится заготовка *9*, опирающаяся на роликовый конвейер, между центральными роликами которого проходит водоабразивная струя. После гашения остаточной энергии струи в ловушке образующийся шлам по специальным шлангам отводится в бак-отстойник. Поскольку зона вблизи выходного отверстия рабочей головки закрыта специальным колпачком, соединенным с пылесосом, а ловушка расположена на расстоянии нескольких миллиметров от заготовки, достигается экологическая чистота процесса. Отсутствие ванны для отработанной воды существенно уменьшает массу установки.

Типовые размеры столов: 2×1,5; 2×3; 2×4; 2×6; 3×2; 3×4 и 3×6 м (первое число — размеры по оси *X*). Выпускают установки с размером стола 4×9 м. Перемещение по оси *Z* обычно не превышает 180…200 мм. Особое внимание при создании установок уделяют выбору материалов и обеспечению хорошей защиты приводов от попадания воды и пыли. Часто тележки и направляющие выполняются из коррозионно-стойких сталей.

Для управления процессом резания обычно используется промышленный персональный компьютер. Возможно также управление с оперативного переносного пульта. Система управления позволяет изменять скорость подачи непосредственно в процессе обработки, а также автоматически замедлять движение рабочей головки в точках излома траектории для устранения недорезов. Используются установки с четырьмя и пятью управляемыми координатами, в которых вертикальная ось *Z* управляется всегда.

В табл. 10.11 приведены характеристики установок для гидроабразивной резки.

10.11. Технические характеристики установок для гидроабразивной резки

Параметр	Тип установки, фирма	
	УР-350 ЭНИМС (Россия)	PTV.S.R.O (Чехия)
Размеры стола, мм	3000×1500	2000×3000
Вертикальное перемещение рабочей головки, мм	100	300
Мощность привода, кВт	18,5	—
Скорость перемещения по осям *X* и *Y*, м/мин, не более	20	124
Рабочее давление, МПа, не более	350	400
Точность воспроизведения профиля, мм	±0,15	$\pm \frac{0,05}{300}$

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

Станки для абразивной обработки (шлифовальные станки)

11.1. Общие сведения

Шлифовальные станки — оборудование, использующее в качестве режущего инструмента абразивный или алмазный круг. Применение этих станков определяется высокими требованиями к качеству поверхности, точности размеров, формы и положения обрабатываемых поверхностей и возможностью обработки труднообрабатываемых материалов. На шлифовальные станки, как правило, поступают заготовки, предварительно обработанные на других станках с оставлением небольшого припуска под шлифование, величина которого зависит от требований к шероховатости и точности обработки.

Вид и конструкция шлифовального станка определяются схемой шлифования, учитывающей: форму обрабатываемой поверхности (табл. 11.1) и ее расположение относительно рабочей поверхности шлифовального круга при обработке (станки для шлифования периферией или торцом круга), а также направление движения подачи (продольно-шлифовальные и врезные шлифовальные станки), положение главного шпинделя (станки с горизонтальным или вертикальным шпинделем) и способ установки заготовки (центровые, патронные и бесцентровые станки).

11.1. Классификация шлифовальных станков по форме обрабатываемой поверхности

Обрабатываемая поверхность	Шлифовальные станки
Плоская	Плоскошлифовальные, торцешлифовальные, продольно-шлифовальные
Цилиндрическая	Круглошлифовальные (центровые), бесцентрово-шлифовальные
Винтовая	Резьбошлифовальные
Обкатная (эвольвентная)	Зубошлифовальные
Фасонная	Профилешлифовальные

Для всех шлифовальных станков характерна высокая производительность, которая определяется высокоскоростным режимом шлифования, позволяющим снимать большой объем материала в единицу времени (до 500 мм^3/мин на 1 мм ширины круга), и широкой автоматизацией цикла обработки. При силовом шлифовании величина удельного съема металла достигает 1200…2000 мм^3/мин

на 1 мм ширины круга. Мощность привода главного движения шлифовального станка зависит от удельной мощности шлифования $P_{уд}$, приходящейся на 1 мм ширины круга $B_к$. Средние значения $P_{уд}$ (кВт) приведены ниже.

Черновое шлифование . . . . . 0,12...0,18
Получистовое шлифование . . . . . 0,08...0,12
Чистовое шлифование . . . . . 0,04...0,07
Силовое шлифование . . . . . 0,25...0,75

Эффективная мощность привода шлифовального круга $P_э$ может быть рассчитана по формуле

$$P_э = P_{уд} B_к.$$

Для различных типов шлифовальных станков существуют особенности базирования и закрепления кругов на шпинделе. Это важно также по соображениям техники безопасности. Прежде чем установить круг, полагается провести проверку на звучность (однородность), проверить: легкость насаживания круга на крепежное приспособление; наличие крепежных фланцев с диаметром, равным одной трети диаметра круга, и перекрытием, равным одной шестой высоты круга; наличие эластичных прокладок, а также провести пятиминутную прогонку на станке на максимальных оборотах.

На рис. 11.1 показаны варианты крепления шлифовальных кругов и их сегментов. Основным способом крепления является механический (рис. 11.1, *а—ж*, рис. 11.2). Между зажимными фланцами и кругом ставят прокладки из упругого материала (картона, резины, кожи и др.) толщиной 0,5…3 мм. Кольцевые круги наклеивают на планшайбу *1* (рис. 11.1, *з*). Наклеивание или заливку кругов производят жидким стеклом, серой, бакелитовым лаком, баббитом или свинцом. Сегменты закрепляют наклеиванием или с помощью зажимных клиньев *1* и винтов *2* и *3* (рис. 11.1, *и*), при этом сегмент должен быть зажат на ширине (высоте), меньшей его толщины.

Вариант крепления сегментного шлифовального круга показан на рис. 11.3. По нормам абразивный круг должен обеспечить минимальную окружную скорость разрушения, превышающую в 1,8…2 раза допустимую рабочую скорость. Самую большую нагрузку на шлифовальный круг создают центробежные силы, вызванные дисбалансом круга. Дисбаланс должен быть устранен балансировкой круга в сборе с крепежными элементами.

Мерой статического дисбаланса, г или г·см, служит масса груза, который, будучи сосредоточен в точке на периферии круга, противоположной его центру тяжести, перемещает центр тяжести на ось вращения круга. Допустимый дисбаланс при поставке шлифовальных кругов в зависимости от диаметра при $B_к > 20$ мм не должен превышать 2…4% массы круга. Точность статической балансировки на балансировочных станках колеблется от 0,15 до 1,5 г·см.

Для узких шлифовальных кругов (при отношении ширины круга $B_к$ к его диаметру D менее 0,3) достаточно статической (рис. 11.4) балансировки в одной плоскости, которая осуществляется перемещением противовесов на фланце. При этом распределение масс вращающегося круга улучшается за счет прибли-

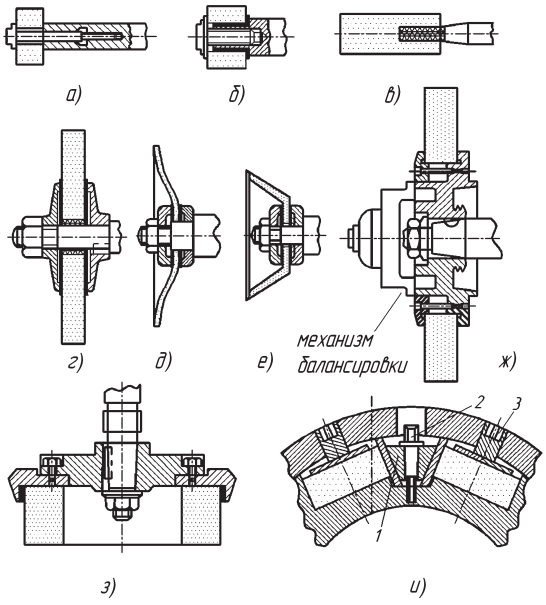


Рис. 11.1. Способы крепления шлифовальных кругов: *а* — винтом с посадкой на винт; *б* — винтом с посадкой на шпиндель; *в* — наклейка с посадкой на шпильку; *г—е* — фланцами непосредственно на шпинделе; *ж* — фланцами с помощью переходных втулок; *з* — наклейка на планшайбу *1*; *и* — крепление сегментов зажимными клиньями *1* и винтами *2, 3*

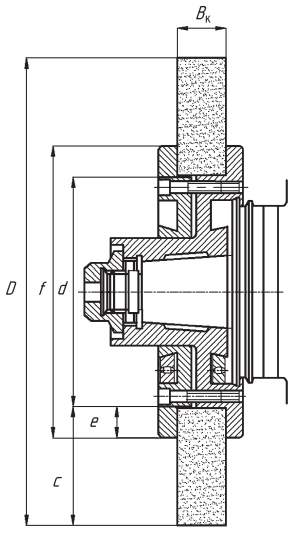


Рис. 11.2. Крепление шлифовального круга:
$B_к$ и c — ширина и высота шлифовального круга; d — внутренний диаметр фланца; e — перекрытие; f — внешний диаметр фланца; D — диаметр шлифовального круга

жения главной оси инерции круга к оси вращения. Круг *1* в сборе с планшайбой (фланцами) устанавливают на балансированную оправку *2*, которая под действием неуравновешенности перекатывается по строго горизонтальным параллельным валикам *3*, пока более тяжелая часть круга не оказывается внизу. Заметив это положение, за несколько попыток размещают сухари *4* в кольцевой выточке фланца таким образом, чтобы круг, повернутый на 90° или другой угол, сохранял неподвижность.

Станки некоторых типов имеют механизм для ручной балансировки шлифовального круга во время работы станка без остановки вращения шпинделя. Балансировка производится перемещением по окружности с разными скоростями в одном и том же направлении грузов *1* и *2* (рис. 11.5) посредством рукояток *3* и *4*. Одному обороту грузов соответствует 128 оборотов рукоятки *4* или 64 оборота рукоятки *3* в направлении, противоположном вращению рукоятки *4*. Для балансировки необходимо задержать рукой рукоятку *4* до тех пор, пока круг не будет уравновешен, что определяют с помощью виброметра или по показаниям электронного индикатора, показывающего наименьший размах колебаний шлифовальной бабки. Широкие ($B_к/D > 1…1{,}35$) шлифовальные круги (например, для бесцентрового шлифования, в том числе составленные из набора кругов) рекомендуется подвергать динамической балансировке (в двух плоскостях) на балансировочной машине. Перед балансировкой круг правят на шлифовальном

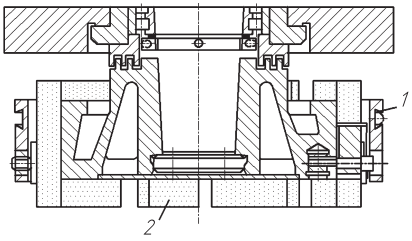


Рис. 11.3. Крепление сегментного шлифовального круга:
1 — противовесы; *2* — шлифовальные сегменты

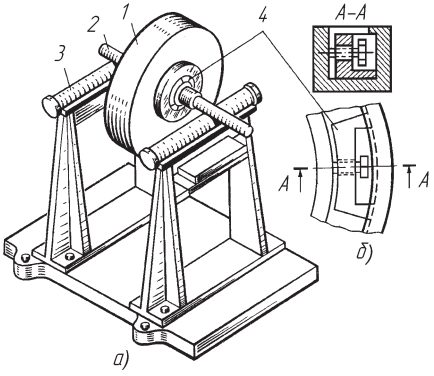


Рис. 11.4. Стенд для статической балансировки шлифовальных кругов:
а — вид со шлифовальным кругом и балансировочной оправкой; *б* — балансировочный сухарь-грузик; *1* — круг; 2 — балансировочная оправка; *3* — параллельные валики; *4* — сухари-грузики

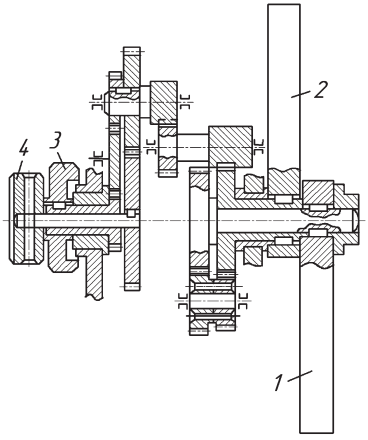


Рис. 11.5. Кинематическая схема механизма для балансировки шлифовальных кругов
1, 2 — грузы; *3, 4* — рукоятки

станке во избежание появления новых центров тяжести. Мерой динамического дисбаланса является амплитуда колебаний шпиндельного узла, мкм.

Пример конструкции устройства автоматической балансировки показан на рис. 11.6, *а*. Для балансировки использованы три шара, расположенные вместе с зажимным приспособлением в кольцевом пазу шпинделя шлифовального круга. Уравновешивание производится под действием моментов сил инерции свободно перемещающимися шарами, которые затем закрепляются. На рис. 11.6, *б* показано положение центра масс до балансировки и после нее. При балансировке круга *1* процесс шлифования прекращают, шпиндель *2* переводят с жестких подшипниковых опор на пружинные *3*, снижая собственную частоту колебаний системы. Подачей масла в гидроцилиндр через отверстие в шпинделе освобождают шары (шток *4* гидроцилиндра вместе с зажимным грибком *5* смещается влево). Под действием возникающих центробежных сил $F_ц$, не совпадающих с реакциями $F_р$ (схема *I*), шары самоустанавливаются в положении, соответствующем состоянию минимального дисбаланса (схема *II*). Затем полость гидроцилиндра переключается на слив и шары зажимаются грибком *5*, перемещающимся под действием пружины *7* соосно крышке *6*. Шпиндель переводится на жесткие подшипниковые опоры, после чего возможно шлифование. Остаточная амплитуда вибраций шпиндельного узла составляет 1…3 мкм, продолжительность автоматической балансировки 10…15 с, и она более чем в 20 раз меньше по сравнению с обычной.

Шлифовальные станки отличаются высокой точностью, позволяющей обеспечить высокое качество обработки, определяемое точностью размеров (2…4 мкм

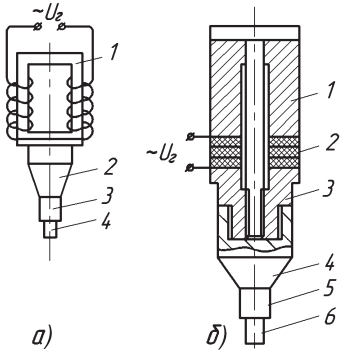


Рис. 11.6. Схема автоматического устройства для балансировки кругов с шаровыми массами: *а* — конструкция; *б* — положение шаров и центра масс до и после балансировки; *1* — круг; *2* — шпиндель; *3* — пружинные опоры; *4* — шток гидроцилиндра; *5* — грибок зажимной; *6* — крышка; *7* — пружина

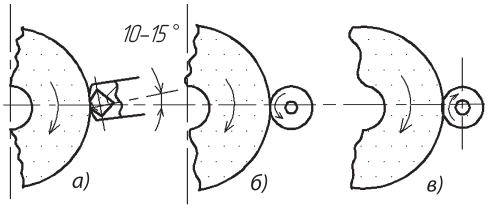


Рис. 11.7. Способы правки шлифовальных кругов: *а* — алмазом в оправе (алмазным карандашом); *б* — алмазным роликом; *в* — твердосплавным роликом

и точнее), формы (например, некруглость 0,3…0,5 мкм, цилиндричность 1…2 мкм, неплоскостность 2 мкм) и расположения обрабатываемой поверхности, а также ее шероховатостью (*Ra* 0,63…0,16). Это связано с тем, что на этих станках проводится финишная, часто окончательная обработка заготовок. Точность размеров при шлифовании определяется малыми величинами глубины резания (0,05…0,005 мм и менее), что требует равномерного микроперемещения (подачи) узла, осуществляющего врезание рабочей поверхности круга в заготовку. Это обеспечивается применением в станке механизмов грубого и тонкого отсчета величины подачи на врезание, точного привода перемещения (например, шариковая винтовая пара) и направляющих качения узла, осуществляющего врезание. Широкое применение в шлифовальных станках шпиндельных узлов с бесконтактными опорами (гидроаэростатическими, гидродинамическими) также связано с требованиями высокой точности.

Существенное влияние на конструкцию шлифовального станка и качество обработки оказывает правка круга, при которой восстанавливаются его режущая способность и геометрическая форма. Необходимость правки круга обусловлена его износом и засаливаемостью в процессе эксплуатации. Во время обработки правка производится относительно часто, что требует компенсации величины срезанного слоя для достижения требуемой точности размера обрабатываемой заготовки. В качестве инструмента для правки используют алмазный карандаш, алмазные профилирующие ролики, бруски из сверхтвердых материалов типа кубического нитрида бора и т.п. (рис. 11.7, *а*—*в*).

11.2. Компоновки и конструкции шлифовальных станков

Схема шлифования отражает связь формы и размеров обрабатываемой поверхности (цилиндрическая, плоская, профильная) с формой и размерами рабочей поверхности абразивного инструмента (периферия, торец, чашечный круг и т.п.), а также показывает движения, необходимые для выполнения формообразования. Главным движением в шлифовальном станке является вращение шлифовального круга. Движения подачи различны и могут выполняться узлами,

несущими как изделие, так и шлифовальный круг, что зависит от компоновки станка. Компоновка шлифовального станка определяется формообразованием (схемой шлифования) и способом ее реализации в станке.

11.2.1. Плоскошлифовальные станки

Различают следующие распространенные схемы плоского шлифования (рис. 11.8), которые реализуются на плоско- и продольно-шлифовальных станках:

• периферией круга с заготовкой, закрепленной на прямоугольном (рис. 11.8, *а*) или круглом (рис. 11.8, *в*) столе;

• торцом круга с заготовкой, закрепленной на прямоугольном (рис. 11.8, *б*), круглом (рис. 11.8, *д*) или глобусном (рис. 11.8, *г*) столах, а также обработка между торцами двух кругов (торцешлифовальные станки).

Плоскошлифовальные станки классифицируют:

• *по расположению шпинделя* — на горизонтальные и вертикальные;

• *по форме стола* — с круглым и прямоугольным столом.

Основным параметром, характеризующим плоскошлифовальные станки, является размер стола. Существует большое разнообразие компоновок плоскошлифовальных станков, реализующих различные схемы плоского шлифования (рис. 11.9). Общие виды плоскошлифовальных станков показаны на рис. 11.10. Важными узлами плоскошлифовального станка являются опоры шпинделя. На рис. 11.11 показаны четыре типа опор, применяемых в шлифовальных станках в зависимости от назначения станка. Например, при профильном шлифовании используется шпиндель, смонтированный в опорах качения с предварительным натягом подшипников. При шлифовании периферией круга предпочтение

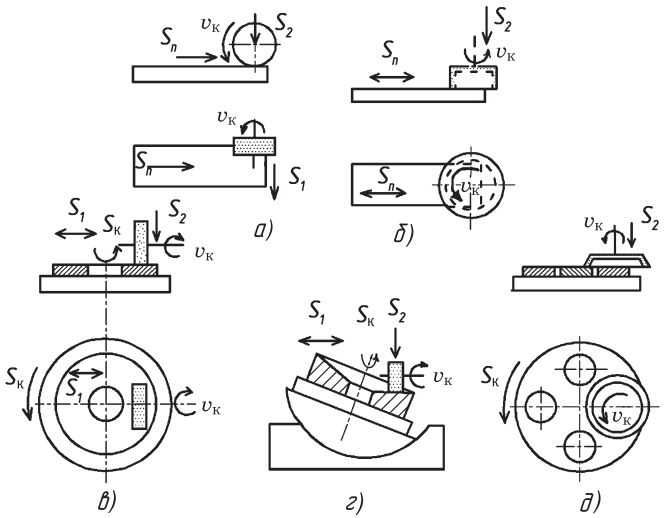


Рис. 11.8. Схемы основных движений в плоскошлифовальных станках:
а — шлифование периферией круга на прямоугольном столе; *б* — шлифование торцом круга на прямоугольном столе; *в* — шлифование периферией круга на круглом столе; *г* — шлифование на глобусном столе; *д* — шлифование торцом круга на круглом столе; $v_к$ — главное движение вращения круга; $S_п, S_к$ — движение продольной или круговой подачи заготовки; S_1, S_2 — поперечное и вертикальное движение подачи

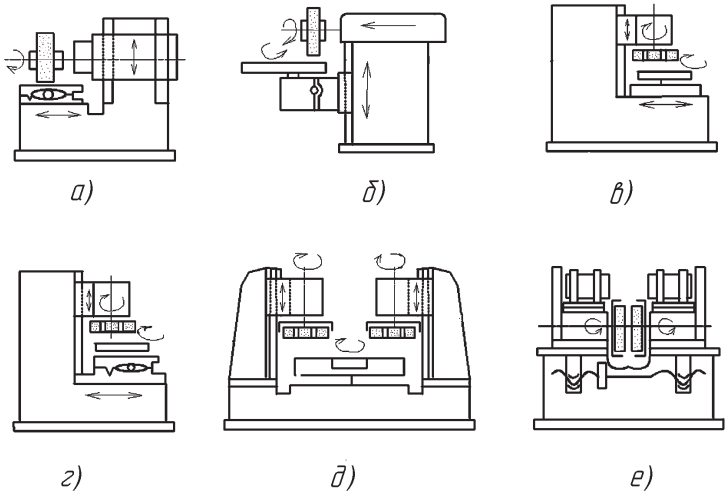


Рис. 11.9. Компоновки плоскошлифовальных станков (с обозначением их движений): с горизонтальными шпинделями, работающими периферией шлифовального круга с прямоугольным (*а*) и круглым (*б*) столом; с вертикальными шпинделями, одношпиндельные, работающие торцом шлифовального круга с прямоугольным (*в*) и круглым (*г*) столом; двухшпиндельные станки, работающие торцом шлифовального круга с двумя вертикальными (*д*) и двумя горизонтальными (*е*) шпинделями

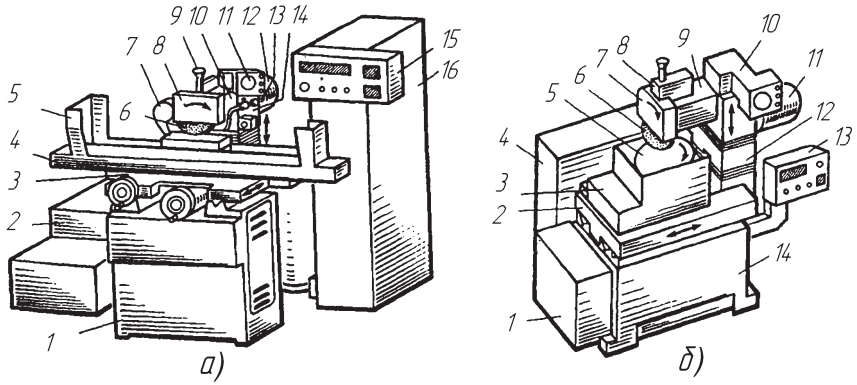


Рис. 11.10. Плоскошлифовальные станки с горизонтальным шпинделем: *а* — с прямоугольным столом: *1*— станина; *2* — устройство для подачи охлаждающей жидкости к шлифовальному кругу; *3* — крестовый (поперечный) суппорт; *4* — стол шлифовального станка; *5* — щиток; *6* — шлифовальный круг; *7* — устройство для отсасывания пыли; *8* — защитный кожух; *9* — правильное устройство; *10* — шлифовальная бабка; *11* — маховичок ручной поперечной подачи; *12* — двигатель шлифовального шпинделя; *13* — трубопровод для охлаждающей жидкости; 14 — стойка; *15* — панель управления; *16* — шкаф управления; *б* — с круглым столом: *1* — гидравлический агрегат; *2* — поперечный суппорт; *3* — защитный кожух; *4* — шкаф управления; *5* — круглый стол; *6* — шлифовальный круг; *7* — защитный кожух; *8* — правильное устройство; *9* — шлифовальная бабка; *10* — маховичок ручной поперечной подачи; *11* — двигатель шлифовального круга; *12* — стойка; *13* — панель управления; *14* — станина

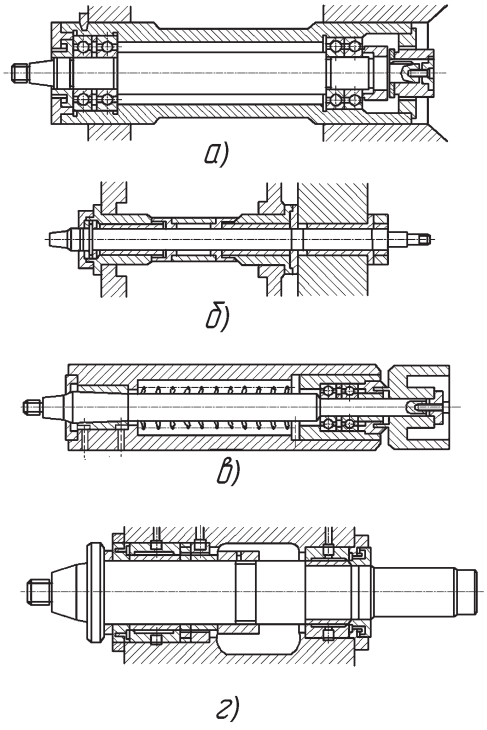


Рис. 11.11. Опоры шлифовального шпинделя:
а — качения; *б* — гидродинамические; *в* — комбинированные; *г* — гидростатические

отдается гидродинамическим опорам, так как они обеспечивают высокую точность вращения и хорошее демпфирование. Комбинированные опоры являются сочетаниями опор качения и гидродинамических опор, объединяя свойства названных опор, и могут успешно применяться при шлифовании периферией круга. Гидростатические опоры обладают небольшим трением, малым радиальным биением и высокой демпфирующей способностью.

Плоскошлифовальный станок мод. 3Е711В с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем предназначен для обработки плоских поверхностей заготовок периферией круга. Класс точности станка — В. Технические характеристики станка приведены ниже.

Размеры рабочей поверхности стола (длина×ширина), мм . . . . . 630×200
Пределы скоростей, м/мин:
продольного перемещения стола . . . . . 2...35
поперечного перемещения крестового суппорта . . . . . 0,01...1,5
Пределы вертикальных подач шлифовальной головки, мм . . . . . 0,001...0,09
Габариты станка, мм . . . . . 2700×1775×1910

К станине *А* (рис. 11.12) крепится колонна *Б*. По горизонтальным направляющим качения станины перемещается в поперечном направлении крестовый суппорт *В* со столом *Д*, совершающим продольное возвратно-поступательное движение. По вертикальным направляющим качения колонны *Б* движется шлифовальная головка *Г*. В станине расположены механизмы *Е* и *Ж* вертикальной и поперечной подачи, а также гидропривод станка.

Главное движение шлифовальный круг получает от электродвигателя *М1* ($P = 5{,}5$ кВт, $n = 1500$ мин$^{-1}$) через поликлиновую ременную передачу. Шпиндель *II* смонтирован в многоклиновых гидродинамических подшипниках с самоустанавливающимися вкладышами.

Поперечная подача крестового суппорта осуществляется от электродвигателя постоянного тока *М2* ($P = 0{,}25$ кВт, $n = 30…3000$ мин$^{-1}$) через косозубые колеса 34—100, 60—100 и ходовой винт *VII*. При сцеплении муфты M_1 с цилиндриче-

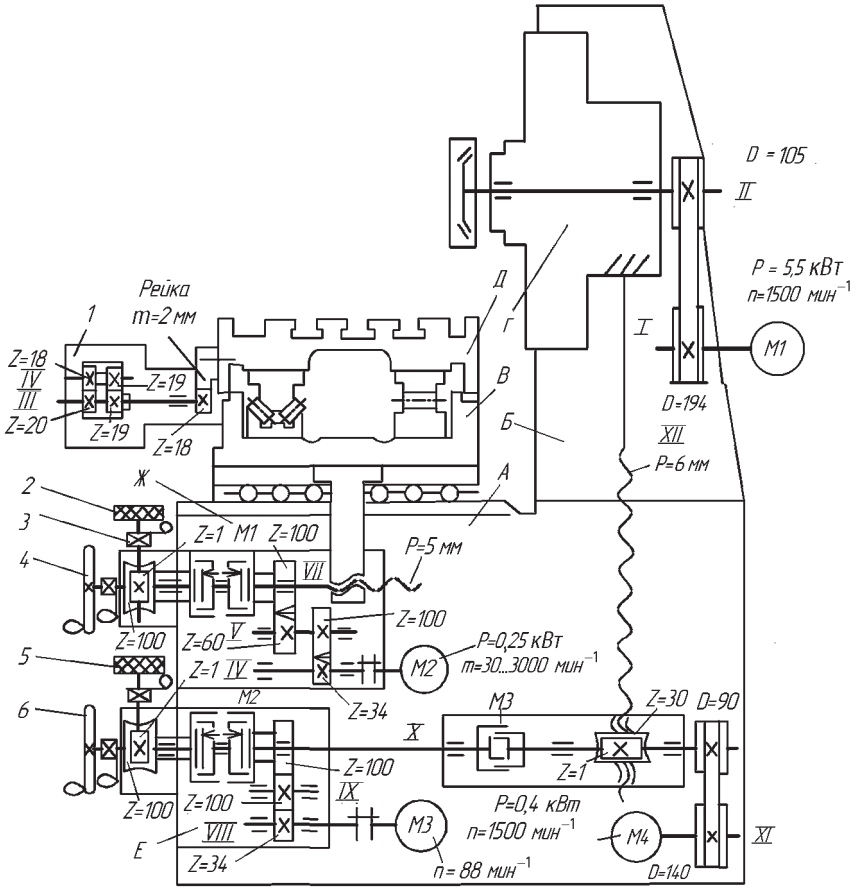


Рис. 11.12. Кинематическая схема плоскошлифовального станка мод. 3Е711В: *А* — станина; *Б* — колонна; *В* — крестовый суппорт; *Г* — шлифовальная головка; *Д* — стол; *Е*, *Ж* — механизмы вертикальной и поперечной подачи

ским колесом $Z = 100$ происходит автоматическая подача (непрерывная или прерывистая) на каждый ход стола (или двойной ход стола). Для получения прерывистой продольной подачи при реверсе стола двигателю *М2* дается команда от бесконтактного путевого выключателя. Ручная грубая и тонкая поперечные подачи осуществляются при включении муфты M_1 влево и включении в работу червячного колеса $Z = 100$. Тонкую ручную подачу получают при вращении лимба *2* через червячную пару 1—100; грубую ручную подачу осуществляют маховичком *4* (червяк $Z = 1$ при этом выводится из зацепления рукояткой *3*).

Продольная подача стола происходит от гидропривода (не показан); скорости регулируются бесступенчато. Ручную продольную подачу осуществляют маховичком *1* со встроенным в него планетарным механизмом, предназначенным для уменьшения величины подачи. Сателлиты $Z = 18$ и $Z = 19$ обкатываются вокруг неподвижного центрального колеса $Z = 19$, и через другое центральное колесо $Z = 20$ вращение передается на реечное колесо $Z = 18$ и рейку.

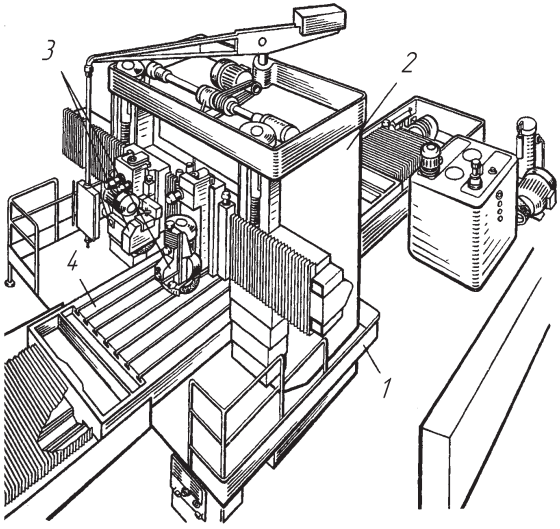


Рис. 11.13. Портальный станок для шлифования направляющих

Вертикальная подача шлифовальной головки осуществляется от шагового электродвигателя *М3* в момент реверса стола или крестового суппорта. Вращение передается ходовому винту *XII* при включенной муфте M_2 вправо через колеса 34—100—100, карданный вал *X*, включенную электромагнитную муфту M_3 и червячную пару 1—30. Ручные (грубая и тонкая) вертикальные подачи осуществляются аналогично поперечным ручным подачам маховичком *6* по лимбу *5*. Быстрые установочные перемещения шлифовальной головки происходят от асинхронного электродвигателя *М4* ($P = 0{,}4$ кВт, $n = 1500$ мин$^{-1}$) при отключенной муфте M_3.

Станки для шлифования направляющих. Направляющие являются ответственными элементами станка, так как влияют на его точность и долговечность

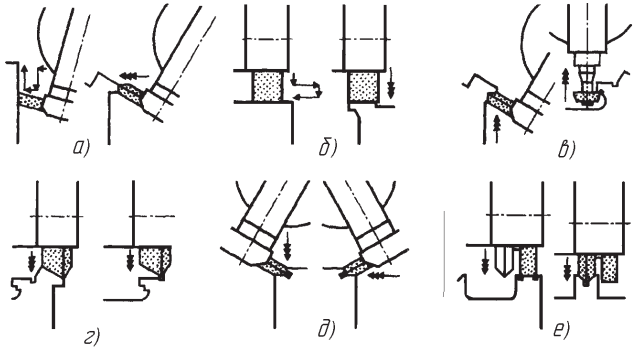
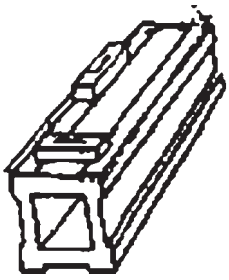
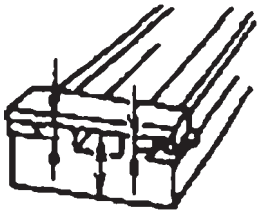
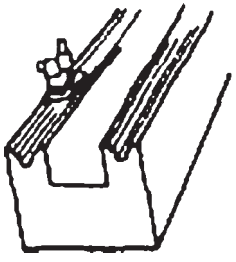
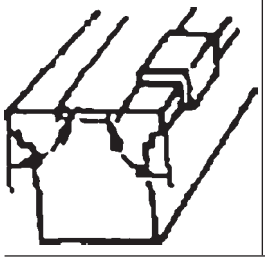


Рис. 11.14. Типовые элементы направляющих и их обработка шлифованием:
а — плоские поверхности направляющих с профильными шлифованными кругами; *б* — плоские поверхности направляющих с кругами для периферийного шлифования; *в* — направляющая с нижним полозком; *г* — призматическая направляющая; *д* — направляющая в форме «ласточкиного хвоста»; *е* — призматические и плоские направляющие с набором шлифовальных кругов

11.2. Точностные параметры шлифованных направляющих

Эскиз	Измерительный инструмент и приборы	Отклонение	Допуск, мкм (на длине, м)
	Уровень	От плоскостности в продольном направлении	5 (до 1); 6 (1…2); 8 (2…5); 10 (5…10); 12 (более 10)
		От плоскостности в поперечном направлении	6 (до 1); 10 (1…1,5); 15 (более 1,5…2);
		Скручивание	4 (более 2); 5
	Оптический прибор для контроля прямолинейности	От соосности (в продольном направлении)	3 (до 1); 6 (1…2); 8 (2…5); 10 (5…10); 12 (более 10)
	Прибор для контроля параллельности (устройство с индикатором часового типа)	От параллельности двух плоскостей	4 (до 1); 6 (1…2); 8 (2…5); 10(5…10); 12 (более 10)
	Уровень, автоколлиматор. Поверочные угольник и плита	Наклона двух плоскостей	Плоскости 10 (500 мм) Направление 2 (100 мм)

и расположены на крупногабаритных базовых деталях — основаниях, станинах, стойках. В том случае, если направляющие станка выполняют накладными, то к посадочным поверхностям станин для установки таких направляющих предъявляются высокие требования по точности, что предполагает шлифование этих поверхностей. Продольно-шлифовальные станки, используемые для абразивной обработки направляющих, как правило, выполняются портальной компоновки (рис. 11.13) и обладают большой статической и динамической жесткостью.

К основанию *1* станка привинчен портал *2*, который состоит из двух стоек и траверсы (поперечины). Заготовки устанавливаются на столе *4* станка и перемещаются вместе с ним. При шлифовании направляющих точность движения стола должна быть высокой, так как отклонения обработанных направляющих не должны превышать нескольких микрометров на 1 м длины.

Каретки с кругами, размещенные на шлифовальных бабках *3*, могут устанавливаться под различными углами относительно плоскости стола таким образом, чтобы более производительно обработать различные грани направляющих. С помощью набора профильных кругов шириной до 500 мм за одну технологическую операцию можно отшлифовать, например, станину токарного станка. Профили кругов можно править устройством правки по шаблону с помощью профильного устройства. На универсальных станках для шлифования направляющих используют широкую автоматизацию отдельных процессов, например, правки кругов, балансировки, толчковой подачи на врезание, автоматизацию отключения установочных движений при контакте круга с заготовкой. На рис. 11.14 показаны схемы обработки типичных форм направляющих станин.

При шлифовании направляющих часто требуется получение не прямолинейной, а бочкообразной вогнутой поверхности в соответствии с определенной формой кривой зеркала направляющих. Для этих целей современные станки оснащают копировальными устройствами, разрешающая способность которых позволяет получить кривизну направляющих от 2 мкм.

В табл. 11.2 приведена достигаемая точность при шлифовании направляющих при следующих производственных условиях: температура помещения цеха 17…25 °С; суточные отклонения температуры не превышают ±2 °С; перепад температуры по высоте не более 1 °С на 5 м.

11.2.2. Круглошлифовальные станки

Круглое шлифование по характеру использования движений подач подразделяется на продольное (рис. 11.15, *а*) и врезное (рис. 11.15, *б*) шлифование. Базирование заготовки производится в центрах. Круглошлифовальные станки предназначены для наружного шлифования гладких и прерывистых цилиндрических поверхностей вращения, а также торцовых поверхностей. Универсальные круглошлифовальные станки обеспечивают поворот рабочего стола на небольшой угол (до 6°), а также передней и шлифовальной бабок вокруг вертикальных

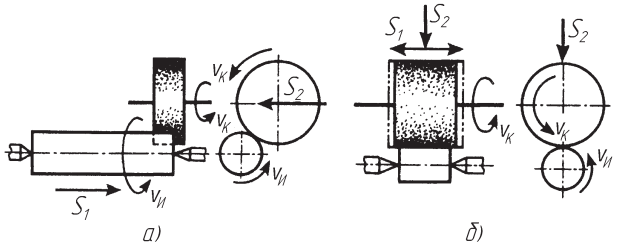


Рис. 11.15. Схемы шлифования на круглошлифовальных станках:
а — продольное шлифование; *б* — врезное шлифование ($v_и$ — круговая подача изделия, S_1 — продольная подача, S_2 — поперечная подача, $v_к$ — скорость вращения шлифовального круга)

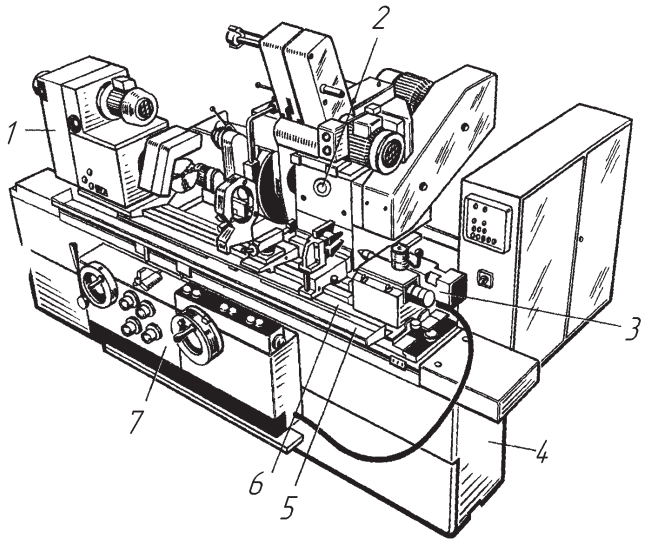


Рис. 11.16. Основные унифицированные узлы круглошлифовального станка: *1* — передняя бабка; *2* — шлифовальная бабка, *3* — задняя бабка; *4* — станина; *5* — салазки; *6* — стол; *7* — пульт управления

осей, что позволяет вести обработку конусов. Кроме этого, универсальные станки обычно снабжены дополнительной бабкой для шлифования отверстий.

Основными размерными характеристиками станков являются наибольший диаметр устанавливаемой заготовки и ее длина. Технологические возможности круглошлифовального станка (рис. 11.16) определяются высотой центров, максимальным диаметром шлифовального круга и длиной шлифования. В машиностроении применяются станки с высотой центров от 100 до 1600 мм, диаметром шлифовального круга до 1000 мм и длиной шлифования от 150 до 12 500 мм. Шлифовальные станки работают по полуавтоматическому и автоматическому циклам.

Круглошлифовальный полуавтомат мод. 3М151Ф2 с ЧПУ предназначен для шлифования гладких и прерывистых цилиндрических поверхностей ступенчатых валов в условиях мелкосерийного и серийного производства; класс точности станка П. Технические характеристики станка приведены ниже.

Размеры устанавливаемой заготовки, мм, не более
- диаметр 200
- длина 700

Диаметр заготовки, мм, шлифуемой с активным контролем ..... 20...85

Частота вращения заготовки, мин$^{-1}$ (регулируется бесступенчато)..... 50...500

Скорость шлифовального круга, м/с, не более..... 50

Рабочие подачи шлифовальной бабки, мм/мин:
- предварительной обработки ..... 0,2...1,2
- окончательной обработки ..... 0,1...0,6
- доводочные ..... 0,02...0,12

Скорость быстрого подвода шлифовальной бабки, мм/мин 1700/930

Скорость перемещения стола, м/мин (число ступеней 10)..... 0,05...5

Габариты станка, мм..... 4950×2400×2170

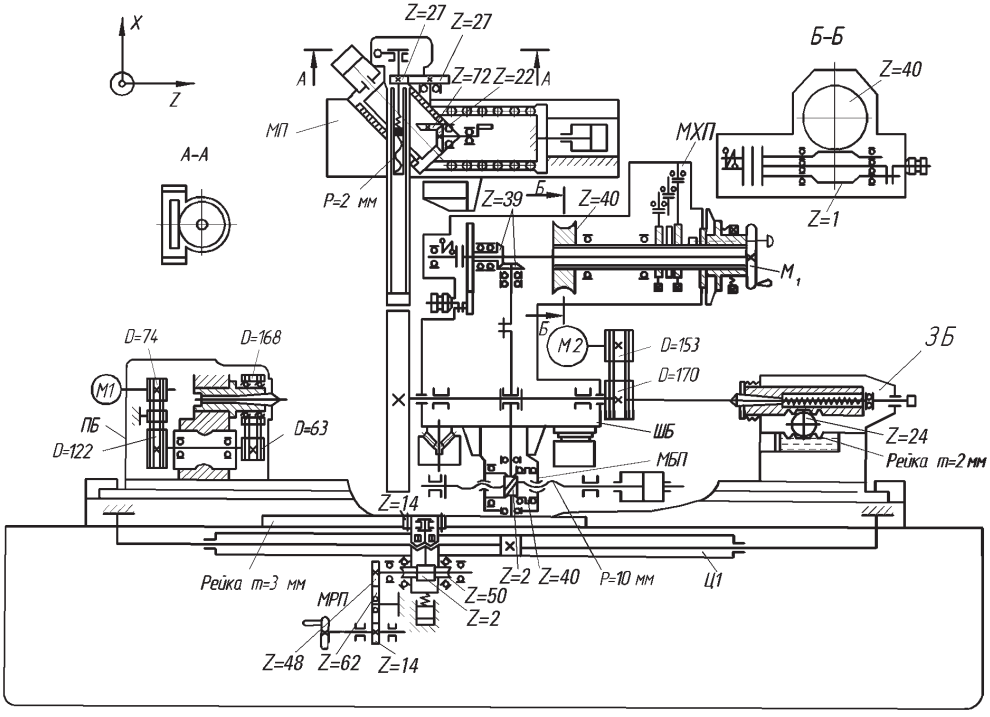


Рис. 11.17. Кинематическая схема круглошлифовального станка мод. 3М151Ф2: *М1*, *М2* — электродвигатели; *ПБ* — передняя бабка; *МП* — механизм правки; *МХП* — механизм подачи; *ШБ* — шлифовальная бабка; *ЗБ* — задняя бабка; *МБП* — механизм быстрого привода; *МРП* — механизм ручного перемещения стола

На станке применяется специализированное устройство ЧПУ, предназначенное для шлифовальных станков. Программу вводят с помощью декадных переключателей; размеры задаются в абсолютных значениях. По программе можно шлифовать до восьми ступеней заготовки. Работа выполняется последовательно по каждой из двух программируемых координат. Для определения отклонения размеров заготовки и круга от заданных в станке имеются два основных измерительных устройства и соответствующие им корректирующие системы.

Износ круга по диаметру (контроль по координате *X*) (рис. 11.17) контролируется косвенным путем при измерении заготовки в процессе обработки прибором активного контроля. Контроль базового торца заготовки (контроль по координате *Z*) прибором осевой ориентации необходим для привязки заготовки к координатной системе станка (например, в случае изменения глубины зацентровки). В момент касания детали щупом этого прибора осуществляется коррекция «нуля» датчика положения стола. Дискретность перемещения по координате *X* 0,001 мм; по координате *Z* 0,1 мм.

Главное движение (см. рис. 11.17). Шпиндель шлифовального круга получает вращение от асинхронного электродвигателя *М2* через клиноременную передачу.

Перемещение стола осуществляется гидроцилиндром *Ц1* или с помощью механизма ручного перемещения стола от маховичка через передачи 14—62—48,

червячную пару 2—50 и реечную передачу (колесо $Z = 14$). При перемещении стола от гидропривода механизм ручного перемещения стола автоматически выключается.

Вращение заготовки осуществляется от электродвигателя постоянного тока *М1* через две клиноременные передачи. Заготовка вращается от поводка планшайбы.

Механизм поперечных подач обеспечивает быструю подачу, снижающуюся в ходе цикла в 2 раза, рабочую подачу и установочное ручное перемещение шлифовальной бабки. Установочный подвод выполняют маховичком M_1 через конические колеса 39—39, червячную пару 2—40 и пару винт—гайка качения с шагом $P = 10$ мм.

Задняя бабка. Осевой отвод пиноли задней бабки производится вручную поворотом вала-шестерни или с помощью гидропривода при перемещении поршня-рейки. Заготовка зажимается в центрах пружиной. Шпиндель *1 шлифовальной бабки* (рис. 11.18) установлен в двух гидродинамических подшипниках с самоустанавливающимися вкладышами *8* (см. также т. 1, рис. 5.128—5.130). В осевом направлении шпиндель фиксируется сферическими бронзовыми шайбами *2* и *3*, прижатыми к бурту шпинделя гайкой *4*. Иногда в качестве опор шпинделя используют подшипники качения и гидростатические подшипники.

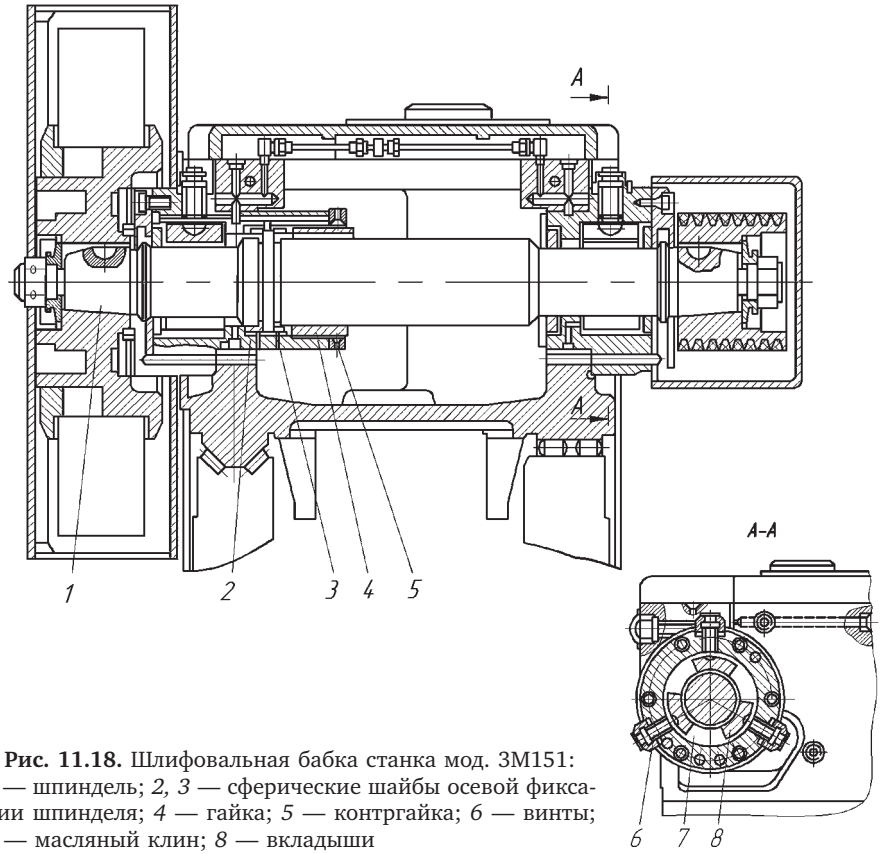


Рис. 11.18. Шлифовальная бабка станка мод. 3М151:
1 — шпиндель; *2, 3* — сферические шайбы осевой фиксации шпинделя; *4* — гайка; *5* — контргайка; *6* — винты; *7* — масляный клин; *8* — вкладыши

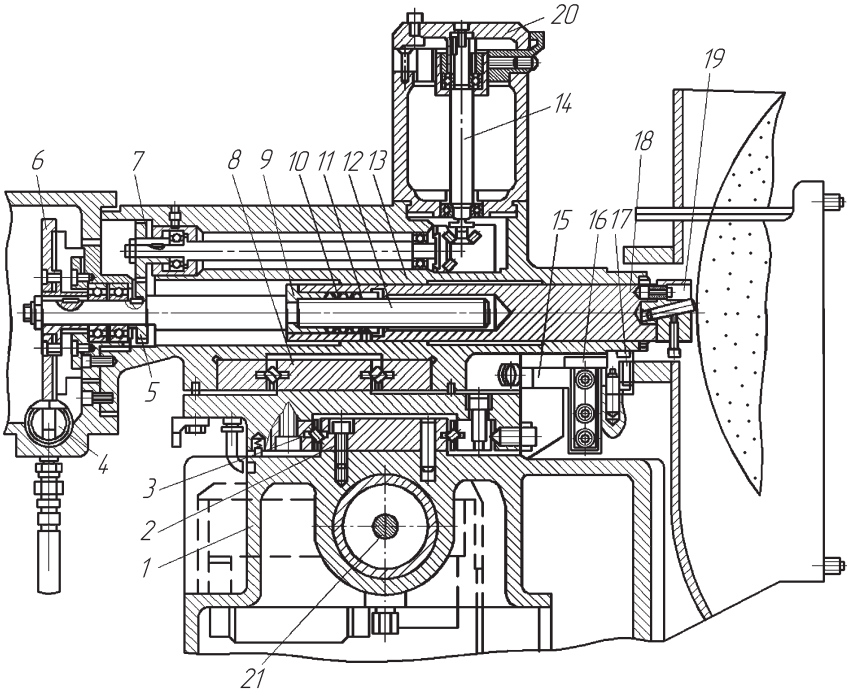


Рис. 11.19. Прибор для автоматической правки шлифовального круга станка мод. 3М151: *1* — корпус; *2* — продольные направляющие; *3* — каретка; *4* — плунжер; *5, 7* — зубчатые колеса; *6* — храповое колесо; *8* — поперечные направляющие; *9* — полугайка; *10* — пружина; *11* — полугайка; *12* — ходовой винт; *13* — суппорт; *14* — вал; *15* — копир; *16, 17* — винты тонкого регулирования копира; *18* — пиноль; *19* — алмазодержатель; *20* — маховичок; *21* — шток гидроцилиндра

Шлифовальная бабка, осуществляющая движение врезания, перемещается по направляющим качения. Для особо точных станков применяют гидростатические направляющие.

На рис. 11.19 представлен прибор для правки шлифовального круга. На корпусе *1* установлены продольные направляющие *2*, по которым перемещается каретка *3*. Каретка имеет роликовые крестообразные поперечные направляющие *8*, расположенные под углом 45° к оси шпинделя, по которым перемещается суппорт *13*, контактирующий с копиром *15*. Копир может иметь гладкую или ступенчатую форму. Каретка приводится в движение штоком *21* гидроцилиндра. В суппорте размещена пиноль *18* с алмазодержателем *19*, перемещаемая в осевом направлении винтом *12*, который поворачивается либо вручную маховичком *20*, либо плунжером гидроцилиндра *4* через храповой механизм с храповым колесом *6*, обеспечивая врезание алмазного карандаша в круг.

Приспособления, применяемые при обработке на круглошлифовальном станке, служат для базирования и закрепления заготовки, а также для передачи ей вращения. К ним относятся различные центровые и консольные оправки, центры, зажимные патроны, люнеты, поводковые устройства и др. Основными требованиями, предъявляемыми к этим приспособлениям, являются недопу-

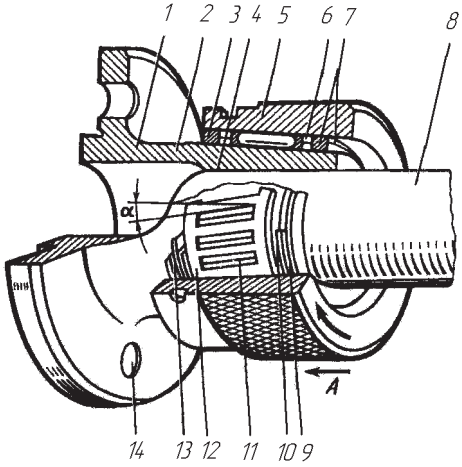


Рис. 11.20. Патрон с роликовым зажимом: *1* — корпус; *2* — конусная поверхность; *3* — разрезное кольцо; *4* — базирующее отверстие; *5* — зажимное кольцо; *6* — конусная поверхность зажимного кольца; *7, 9, 13* — разрезные кольца; *8* — заготовка; *10* — защитные кольца; *11* — ролики зажимные; *12* — сепаратор; *14* — крепежные отверстия

щение деформаций заготовки во время закрепления и автоматизация процесса установки и закрепления заготовки.

Патрон с роликовым зажимом, представленный на рис. 11.20, служит для зажима цилиндрических заготовок по наружной поверхности. Основная деталь патрона — корпус *1* — имеет фланец с центрирующим пояском *2* и отверстиями *14* для крепления к планшайбе станка. Рабочая часть корпуса патрона имеет наружную конусную поверхность и строго концентричное с пояском *2* отверстие *4*, в которое вставляется обрабатываемая заготовка *8*. Зажимное кольцо *5* расточено в соответствии с конусностью корпуса. Между корпусом *1* и зажимным кольцом *5* находится сепаратор *12* с роликами *11*. Ролики располагаются под небольшим углом к оси патрона (угол наклона роликов обычно равен 1°). Для предохранения роликов от загрязнения с обеих сторон установлены защитные фетровые кольца *10*, удерживаемые металлическими разрезными кольцами *7*, *9*, *13*. Будучи расположенными под углом к оси патрона, ролики при незажатом состоянии касательны в средней своей точке к наружной конической поверхности, а на концах — к внутренней конической поверхности. При вращении зажимного кольца *5* по часовой стрелке ролики, увлекаемые силой трения, обкатываются по конической поверхности и вследствие своего наклонного положения как бы «навинчиваются», заставляя зажимное кольцо перемещаться в направлении стрелки *A*. Вследствие осевого перемещения зажимного кольца зазор уменьшается до тех пор, пока ролики не станут прилегать к обоим конусам по всей своей длине. Дальнейшее вращение зажимного кольца вызывает некоторую деформацию стенок корпуса, и заготовка оказывается зажатой в патроне. Конусность зажимных конусов роликовых приспособлений выбирается в пределах от 1 : 30 до 1 : 50, а диаметр роликов — от 1 до 5 мм. Стенки роликовых оправок должны быть тонкими.

11.2.3. Бесцентрово-шлифовальные станки

Эти станки используются в крупносерийном производстве для высокопроизводительного шлифования поверхностей типа тел вращения малого диаметра и большой длины, а также заготовок, не имеющих центровых отверстий, и обеспечивают высокую точность и качество обрабатываемой поверхности. Это достигается благодаря повышенным режимам резания и сокращению времени на установку, выверку и снятие заготовок. Бесцентровая обработка позволяет уменьшить припуск на шлифование, так как заготовка центрируется

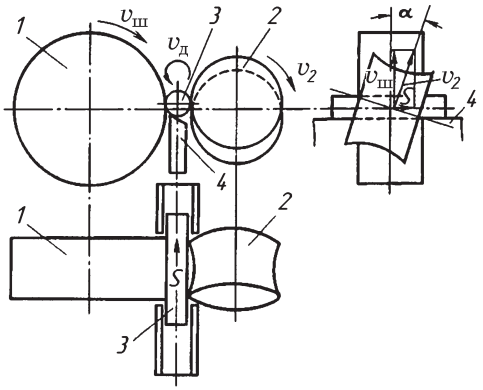


Рис. 11.21. Схемы работы бесцентрового круглошлифовального станка:
1 — шлифовальный круг; *2* — ведущий круг; *3* — заготовка; *4* — опорный нож; $v_ш$ — окружная скорость шлифовального круга; $v_д$ — окружная скорость обрабатываемой детали (заготовки); v_2 — окружная скорость ведущего круга; α — угол поворота ведущего круга или наклона опорного ножа; *S* — продольная подача заготовки

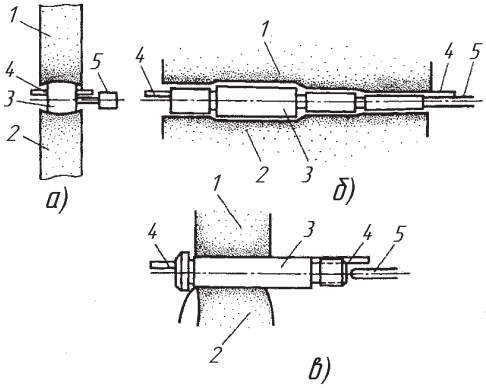


Рис. 11.22. Методы бесцентрового шлифования:
а — врезное; *б* — напроход; *в* — до упора; *1* — шлифовальный круг; *2* — ведущий круг; *3* — заготовка; *4* — опорный нож; *5* — упор

по обрабатываемой поверхности (рис. 11.21). Повышенный режим шлифования возможен вследствие надежной опоры шлифуемой заготовки на нож (башмак) и ведущий круг.

Различают станки для наружного и внутреннего бесцентрового шлифования деталей. Основным параметром бесцентрово-шлифовальных станков является наибольший диаметр шлифуемой поверхности: 10, 20, 40, 80, 160 и 320 мм. Наименьший диаметр заготовки в зависимости от способа шлифования составляет 0,2…20 мм.

Применяются три способа бесцентрового шлифования (рис. 11.22): шлифование «напроход», врезное и шлифование до упора. Последний способ используется для обработки заготовок, имеющих выступ. Способом «напроход» шлифуют гладкие заготовки без выступов при непрерывной подаче их между вращающимися кругами. Врезным шлифованием обрабатывают цилиндрические, конические и фасонные заготовки. Заготовку устанавливают так, чтобы обработка происходила одновременно по всей длине, поэтому высота шлифовального круга больше, чем длина заготовки. Заготовка только вращается, а ведущий или шлифующий круг получают поперечную подачу в радиальном направлении. При шлифовании конических или фасонных поверхностей шлифовальному кругу или обоим кругам правкой придается соответствующая форма рабочей поверхности.

Обрабатываемая заготовка *2* (рис. 11.23) при бесцентровом шлифовании не закрепляется, а, базируясь по наружной поверхности на опорном ноже *4* (или башмаке), контактирует с двумя кругами *1* и *3*. Шлифующий круг *1*, вращаясь с окружной скоростью 30…40 м/с, снимает припуск с заготовки, а другой круг *3* — ведущий, вращаясь с окружной скоростью 10…50 м/мин, сообщает

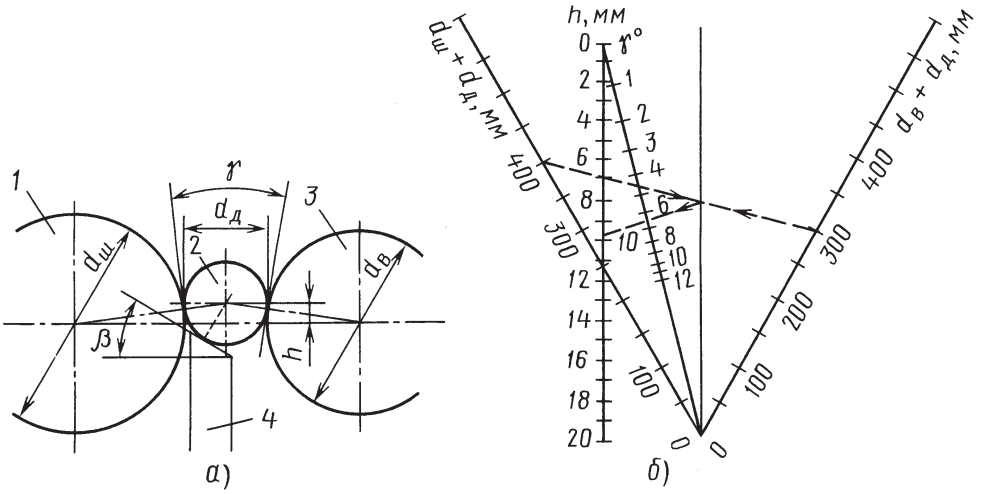


Рис. 11.23. Схема бесцентрового шлифования (*а*) и номограмма для определения положения детали по высоте (*б*):
1 — шлифовальный круг; *2* — заготовка; *3* — ведущий круг; *4* — опорный нож; $d_в$ — диаметр ведущего круга; $d_ш$ — диаметр шлифовального круга; $d_д$ — диаметр детали; h — превышение оси заготовки осей кругов; β — угол опоры; γ — тангенциальный угол

заготовке вращение (круговую подачу) и продольное перемещение (осевую подачу). Продольная подача сообщается шлифуемой заготовке ведущим кругом *3* либо вследствие установки его под некоторым углом α (от 1 до 8°, см. рис. 11.21) по отношению к шлифующему кругу *1*, либо из-за наклона опорного ножа на тот же угол α. Нож и ведущий круг поддерживают заготовку и принимают на себя возникающие силы резания. Чтобы обеспечить касание ведущего круга с заготовкой по всей ширине круга, ему придают форму гиперболоида (см. рис. 11.21). Скорость вращения заготовки задается ведущим кругом. Так как вследствие меньшей скорости вращения ведущего круга (в 60…100 раз) трение между шлифовальным кругом и заготовкой меньше, чем между заготовкой и ведущим кругом, то линейная скорость заготовки в зоне контакта соответствует линейной скорости ведущего круга. В качестве ведущих кругов используют мелкозернистые твердые круги на вулканитовой связке, однако они могут быть также стальными, чугунными или алюминиевыми.

Для обеспечения цилиндричности обрабатываемой заготовки ее устанавливают несколько выше центров шлифовального и ведущего кругов примерно на 0,15…0,25 диаметра заготовки, но не более 10…12 мм во избежание вибраций. Для врезного шлифования рекомендуется превышение оси заготовки над осями кругов (рис. 11.23, *а*) рассчитывать по формуле

$$h = \frac{\gamma\pi}{2 \cdot 180} \frac{(d_в + d_д)(d_ш + d_д)}{d_в + d_ш + 2d_д}$$

или определять по номограмме (см. рис. 11.23, *б*).

Скорость продольной подачи S, м/мин, обрабатываемой детали (заготовки)

(рис. 11.24) зависит от угла α между осями кругов и скорости вращения ведущего круга v_2 и определяется выражением

$$S = v_2 \sin\alpha,$$

а окружная скорость вращения заготовки $v_д$, м/мин, — круговая подача

$$v_д = v_2 \cos\alpha.$$

При черновом шлифовании угол α составляет 1,5…6°, а при чистовом 0,5…1,5°.

Точность размеров и геометрической формы обрабатываемых заготовок при бесцентровом шлифовании при оптимальной настройке станка и выборе инструмента достигается в следующих пределах:

- допуск на диаметр 2 мкм, при этом необходимо обеспечить точность подачи на врезание 0,5 мкм;
- отклонение от круглости 0,3 мкм;
- шероховатость *Ra* 0,1…0,15, при этом необходима тонкая очистка смазочно-охлаждающей жидкости и осциллирующее перемещение шлифовального круга.

Осциллирование улучшает качество поверхности до *Ra* 0,05…0,1; овальность составляет примерно 0,5 мкм. Недостатки бесцентрового шлифования: сложность наладки при высоких требованиях к цилиндричности заготовки; невозможность получения шлифуемой поверхности, концентрично расположенной относительно ранее обработанных центровых отверстий и шеек; сложность шлифования заготовок, которые не имеют замкнутой цилиндрической обрабатываемой поверхности, например, при наличии лысок по длине заготовки и др.

Различают следующие принципиальные компоновочные схемы бесцентрово-шлифовальных станков (рис. 11.25). На рис. 11.25, *а* приведена схема, при которой возможно перемещение бабки ведущего круга *2* и суппорта с опорным ножом *3* относительно неподвижно закрепленной на станке шлифовальной бабки *1*. К преимуществам таких компоновок относят большую жесткость шлифовальной бабки и стабильное положение оси круга, к недостаткам — зависимость положения оси заготовки от диаметра шлифовального круга. Так как износ шлифовального круга примерно в 5 раз выше износа ведущего круга, то по мере из-

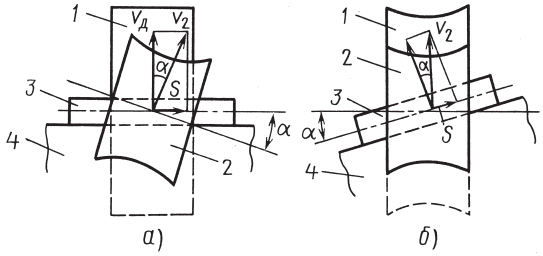


Рис. 11.24. Схемы получения продольной подачи заготовки при бесцентровом шлифовании путем поворота ведущего круга (*а*) и опорного ножа (*б*):
1 — шлифовальный круг; *2* — ведущий круг; *3* — заготовка; *4* — опорный нож [$v_ш$ — окружная скорость шлифовального круга; $v_д$ — окружная скорость обрабатываемой детали (заготовки); v_2 — окружная скорость ведущего круга; *S* — продольная подача заготовки; α — угол поворота ведущего круга или наклона опорного ножа]

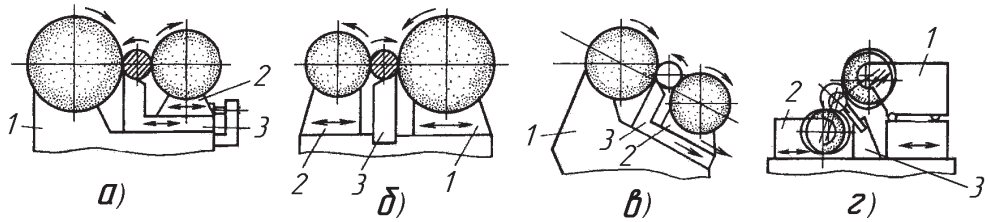


Рис. 11.25. Принципиальные схемы бесцентрово-шлифовальных станков: *а* — с неподвижной шлифовальной бабкой при горизонтальной линии центров; *б* — с подвижной шлифовальной бабкой и суппортом с опорным ножом при горизонтальной линии центров; *в* — с неподвижной шлифовальной бабкой и подвижными бабкой изделия и суппортом при наклонной линии центров; *г* — с подвижными бабками и неподвижным суппортом с опорным ножом при наклонной линии центров; *1* — шлифовальная бабка; *2* — бабка ведущего круга; *3* — суппорт с опорным ножом

нашивания шлифовального круга необходимо заготовку приближать к кругу и переналаживать транспортно-загрузочное устройство.

По компоновочной схеме, показанной на рис. 11.25, *б*, шлифовальная бабка *1* и бабка ведущего круга *2* подвижные, и опорный нож *3* закреплен на станине станка. Обе бабки регулируют независимо друг от друга. Компенсация износа круга происходит перемещением бабки шлифовального круга. Бабку ведущего круга перемещают при настройке на новый размер заготовки и по мере изнашивания круга. Такая компоновка принята для большинства станков.

На рис. 11.25, *в, г* приведены схемы станков, у которых оси кругов расположены не в одной горизонтальной плоскости. Такие станки эффективны при обработке тяжелых заготовок, так как при этом большая часть массы заготовки приходится на ведущий круг, расположенный ниже, и сила сцепления заготовки с кругом возрастает. В станках этого типа отсутствуют какие-либо приспособления для закрепления заготовок, так как их базируют на опорных ножах или башмаках различной конструкции. Ножи выполняют гладкой или ступенчатой формы из легированной стали. В этом случае нож оснащают пластинкой из твердого сплава.

Бесцентрово-шлифовальный станок мод. 3М184 предназначен для шлифования гладких, ступенчатых, конических и фасонных поверхностей методами продольного и врезного шлифования. Технические характеристики станка приведены ниже.

Пределы диаметров устанавливаемой заготовки, мм . . . . . 3...80
Максимальная длина обрабатываемой заготовки, мм 260
Пределы частот вращения ведущего круга
(при бесступенчатом регулировании), мин$^{-1}$ . . . . . 120...1650
Диаметр круга, мм, не более:
шлифовального 500
ведущего 350

Компоновка бесцентрового станка показана на рис. 11.26, *а* и состоит из бабок шлифовального *3* и ведущего *4* кругов, установленных соответственно на салазках *9* и *6*, перемещающихся по станине *7*. На каждой из бабок размещены приспособления для правки кругов *2* и *5* соответственно для шлифовального и

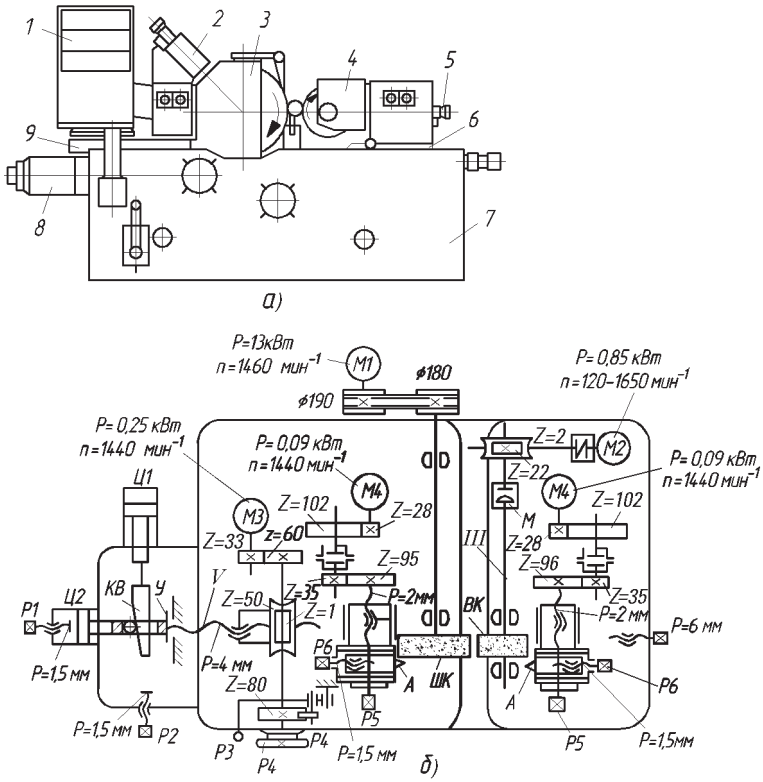


Рис. 11.26. Бесцентровой станок для наружного круглого шлифования мод. 3М184: *а* — компоновка: *1* — блок управления; *2*, *5* — приспособление правки шлифовального и ведущего кругов; *3* — шлифовальная бабка; *4* — бабка ведущего круга; *6* — салазки бабки ведущего круга; *7* — станина станка; *8* — устройство подачи на врезание; *9* — салазки шлифовальной бабки; *б* — кинематическая схема: *М1* — асинхронный электродвигатель привода шлифовального круга; *М2* — электродвигатель привода ведущего круга; *М3* — электродвигатель ускоренного перемещения бабки шлифовального круга; *М4* — электродвигатель продольного перемещения алмазного карандаша; *ШК* — шлифовальный круг; *ВК* — ведущий круг; *Р1* — рукоятка регулирования хода гидроцилиндра *Ц2*; *Р2* — рукоятка перемещения шлифовальной бабки; *Р3* — рукоятка толчкового перемещения шлифовального круга; *Р4* — рукоятка ручного перемещения шлифовального круга; *Р5, Р6* — рукоятки ручного перемещения привода правки; *Ц1* — гидроцилиндр перемещения клина врезания; *Ц2* — гидроцилиндр перемещения шлифовальной бабки; *А* — алмазный карандаш; *КВ* — клин врезания; *У* — упорный торец штока гидроцилиндра *Ц2*; *М* — предохранительная муфта

ведущего круга. На станине размещены устройство для подачи на врезание *8* шлифовальной бабки *3* и блок управления станком *1*.

Главное движение (рис. 11.26, *б*) — вращение шлифовального круга происходит от асинхронного электродвигателя *М1* ($P = 13$ кВт, $n = 1460$ мин$^{-1}$) через клиноременную передачу со шкивами диаметрами 190 и 180 мм. Шпиндель шлифовального круга установлен на гидродинамических опорах.

Вращение ведущего круга (ВК) осуществляется от электродвигателя постоянного тока *М2* через червячную передачу 2—22 и муфту *М*. При наладке бабка

ведущего круга может перемещаться винтом с шагом $P = 6$ мм и поворачиваться в горизонтальной плоскости.

Движение врезания получает шлифовальная бабка, перемещающаяся по направляющим качения. Врезание осуществляется гидравлически: ускоренный подвод выполняется цилиндром *Ц2*, а поперечная подача — цилиндром *Ц1*. Врезание происходит по следующему циклу: форсированная подача, подача для предварительной обработки, подача для окончательной обработки, выхаживание, ускоренный отвод.

Ускоренное поперечное перемещение бабки шлифовального круга по направляющим качения производится от двигателя *М3* через передачи 33—60 и 1—50; ручное перемещение — от рукоятки *Р4*. В обоих случаях с вала *IV* движение передается через червячную передачу 1—50 на ходовую гайку. При неподвижном винте $P = 4$ мм гайка вращается и перемещает бабку. Толчковая рукоятка *Р3* при каждом качании обеспечивает поворот вала *IV* на одно деление лимба (через храповой механизм *Х* с колесом *80*).

При врезном шлифовании действует гидрофицированный механизм, перемещающий ходовой винт *V* вдоль его оси (без вращения) вместе со шлифовальной бабкой. У цилиндра *Ц2* шток поршня жестко соединен с ходовым винтом *V*. В штоке сделан паз, сквозь который проходит клин *КВ*, и закреплен упирающийся в клин ролик. Давление в правой полости цилиндра *Ц2* отводит бабку влево. При подаче масла в левую полость бабка быстро подводится до тех пор, пока ролик не упрется в клин. Затем клин постепенно вытягивается цилиндром *Ц1* из паза — бабка продолжает движение вправо, происходит врезание. Когда упорный торец у штока доходит до корпуса, бабка останавливается, начинается выхаживание (клин, уже не касаясь ролика, продолжает движение до упора). По окончании шлифования цилиндр *Ц2* отводит бабку. Винты с рукоятками *Р1* и *Р2* регулируют ход поршней в обоих цилиндрах. При шлифовании напроход винт с рукояткой *Р1* должен быть завернут до упора штока в корпус.

Механизмы правки шлифовального и ведущего кругов унифицированы. Привод правки состоит из двигателей постоянного тока *М4*, передач 28—102, 35—95 и винтов $P = 2$ мм. Механизм правки сообщает алмазному карандашу *А* продольное движение от двигателя *М4* или от рукоятки *Р5*, поперечное движение — от рукоятки *Р6*. Механизмы правки имеют шариковые направляющие.

В автоматических линиях для шлифования колец подшипников, роликов, валов и других деталей типа тел вращения применяют специальные бесцентровые круглошлифовальные станки с широкими кругами диаметром от 400 мм и выше, шириной (высотой) 500…800 мм, собранных из набора трех-четырех стандартных абразивных кругов номинальной ширины: 63, 100, 150 и 200 мм.

Применение станков с кругами большой ширины дает возможность повысить производительность шлифования в 2…3 раза. На рис. 11.27 шпиндель *5* изготовлен из стали 45, на его шейки насажены втулки из стали 38ХМЮА. Гидродинамическая опора шпинделя состоит из пяти самоустанавливающихся вкладышей, которые монтируют в герметичных (для сохранения объема жидкости в опоре) обоймах *6*, *8* на винтах со сферической головкой *1*, которыми регулируют зазор между шейкой шпинделя и вкладышами *3*. Для предохранения от вытекания масла на винты установлены защитные колпачки *2*, а на шпинделе — манжет-

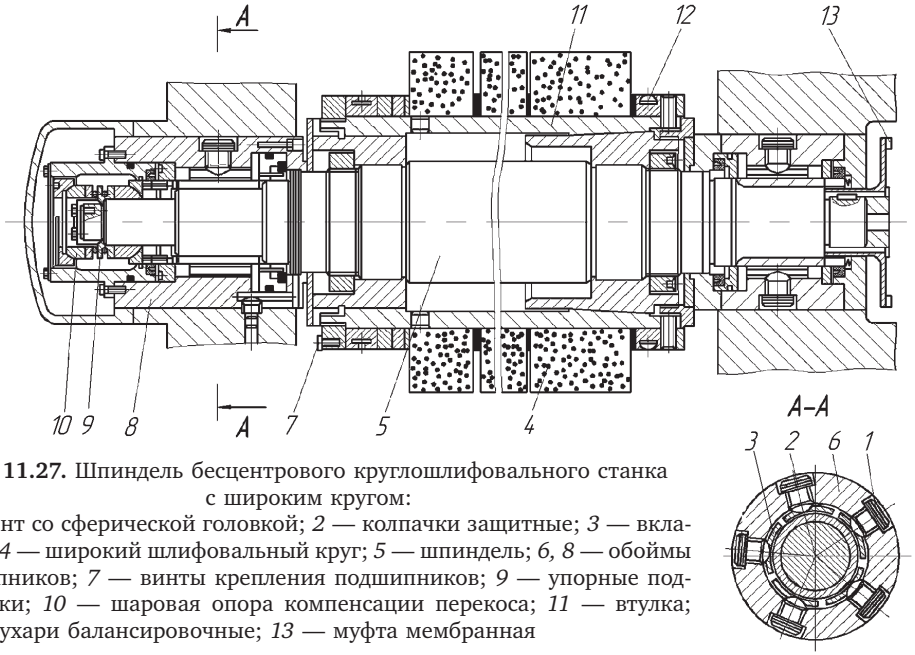


Рис. 11.27. Шпиндель бесцентрового круглошлифовального станка с широким кругом:
1 — винт со сферической головкой; *2* — колпачки защитные; *3* — вкладыши; *4* — широкий шлифовальный круг; *5* — шпиндель; *6, 8* — обоймы подшипников; *7* — винты крепления подшипников; *9* — упорные подшипники; *10* — шаровая опора компенсации перекоса; *11* — втулка; *12* — сухари балансировочные; *13* — муфта мембранная

ные уплотнения. В левой опоре установлены упорные подшипники *9*, воспринимающие осевые нагрузки, а также шаровая опора *10* для компенсации перекоса шпинделя. Абразивные круги *4* устанавливают на втулке *11*. Закрепляют круги на втулке гайкой через промежуточные шайбы и затягивают винтами *7*. Круги в собранном виде обтачивают по наружному диаметру для получения одинакового размера и устранения биения и подвергают динамической балансировке на установке с помощью сухарей *12*, расположенных в кольцевых выточках. Шпиндель станка приводится во вращение мембранной муфтой *13*, позволяющей компенсировать перекосы оси шпинделя во время обработки.

11.2.4. Внутришлифовальные станки

Предназначены для шлифования отверстий цилиндрической и конической формы методами продольной и поперечной подач. Эти станки, как правило, снабжены специальным торцешлифовальным устройством для обработки торцов. Главным движением является вращение шлифовального круга $v_ш$ (рис. 11.28), круговая подача $v_д$ обеспечивается либо вращением заготовки (рис. 11.28, *а*), либо планетарным вращением шлифовального шпинделя (рис. 11.28, *б*). Продольная и поперечная подачи S_1, S_2 обеспечиваются перемещением шлифовального шпинделя или бабки изделия. Станки этой группы могут быть патронными или бесцентровыми. В первом случае заготовка базируется в патронах различных конструкций, во втором — на роликах или башмаках. Основной размерной характеристикой станков является наибольший диаметр обрабатываемой заготовки. Большие внутришлифовальные станки шлифуют отверстия диаметром и глубиной до 1200 мм. Скорость резания обычными кругами ограничена 35 м/с. При снабжении станков защитными устройствами,

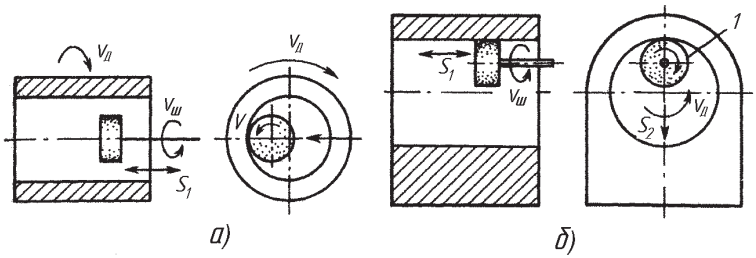


Рис. 11.28. Схемы внутреннего шлифования:
а — при вращающейся заготовке; *б* — при неподвижной заготовке

охватывающими всю рабочую зону, используются круги с окружной скоростью вращения 60 м/с. Окружная скорость вращения заготовки при этом составляет 60 м/мин, а величина продольной подачи 0,5…6 м/мин при черновой обработке и 0,25…3 м/мин при чистовой. Мощность привода главного движения станков средних размеров составляет 7,5…15 кВт, а карусельно-шлифовальных — до 30 кВт. При обработке на станках погрешность размера (диаметра) достигается в пределах 0,5…1 мкм, а отклонение от круглости не превышает 1...2 мкм. Для повышения качества обрабатываемой поверхности кругу сообщают небольшое осциллирующее движение. Станки для шлифования подшипников качения имеют механические осцилляторы, обеспечивающие 400…800 дв. ход/мин.

По компоновке и расположению шпинделя различают горизонтальные и вертикальные (рис. 11.29), а по характеру круговой подачи — центровые и планетарные внутришлифовальные станки. Наиболее распространены центровые станки. Внутришлифовальные станки с планетарным движением шпинделя используются, если обрабатываемая заготовка имеет большие размеры, отверстия расположены в тяжелых заготовках и с несимметричной формой, или когда заготовке невозможно сообщить вращательное движение круговой подачи. Круговая подача в этих станках создается вращением оси круга относительно оси обрабатываемого отверстия по окружности. Продольная подача получается за счет возвратно-поступательного движения круга либо стола с заготовкой. Поперечная подача осуществляется периодическим радиальным перемещением оси шлифовального круга таким образом, что после каждого двойного хода радиус окружности, описываемой шлифовальным шпинделем вокруг оси обрабатываемого отверстия, увеличивается.

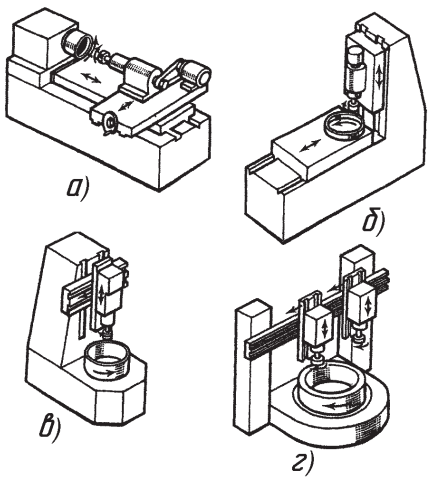


Рис. 11.29. Компоновки внутришлифовальных станков:
а — горизонтальная; *б* — вертикальная; *в* — вертикальная с поперечной траверсой; *г* — карусельная

Внутришлифовальный полуавтомат мод. 3К227В предназначен для шлифования цилиндрических и конических, глухих и сквозных отверстий, а также торцов в условиях серийного и массового произ-

водства; класс точности станка В. Технические характеристики станка приведены ниже.

Пределы диаметров шлифуемого отверстия, мм . . . . . 20...100
Длина шлифования, мм, не более 125
Пределы частот вращения шпинделя заготовки, мин$^{-1}$
(регулируются бесступенчато) . . . . . 140...1000
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$ 9000, 12000, 18000, 24000
Пределы поперечных подач, мм/мин . . . . . 0,13...1,3
Скорость движения стола при шлифовании, м/мин . . . . . 1...7
Габариты станка, мм . . . . . 2700×1265×1750

На станине *СА* (рис. 11.30) установлен мост *МС* с бабкой изделия *БИ* и прибор правки *ПП*. По поперечным направляющим перемещается шлифовальная бабка *ШБ*, расположенная на столе *СЛ*, и вместе с ним совершает возвратно-поступательное продольное движение подачи по направляющим качения станины *СА*. Торцешлифовальное приспособление *ТП* смонтировано на корпусе бабки изделия.

Главное движение — вращение шлифовального круга — осуществляется от асинхронного электродвигателя *М1* через плоскоременную передачу со сменными шкивами, что позволяет изменять частоту вращения шпинделя *I*.

Круговая подача — вращение заготовки — осуществляется от электродвигателя постоянного тока *М2* с бесступенчатым регулированием частоты вращения через клиноременную передачу 110—165. При шлифовании конических отверстий поворот бабки изделия *БИ* относительно моста *МС* вокруг вертикальной оси осуществляется с помощью рукоятки *Р1* через червячную передачу 1—30 и звездочку $Z = 9$ на валу *IV*, находящуюся в зацеплении с цепью, закрепленной на салазках моста. Наладочное поперечное перемещение моста с бабкой изделия производят винтом с шагом $P = 6$ мм рукояткой *Р2*.

Продольная подача — возвратно-поступательное движение стола — осуществляется от гидроцилиндра *Ц1*. Регулирование скорости в пределах 0,1…10 м/мин производится бесступенчато. Стол перемещается по направляющим качения ручным приводом от маховичка *Р4*, если зубчатое колесо $Z = 18$ (вал *VII*) зацепляется с рейкой. При включении гидропривода стола с помощью *Ц2* автоматически выводится из зацепления колесо $Z = 18$ (перемещается вал *VII* со всеми деталями на нем).

Поперечная подача шлифовального круга осуществляется рукояткой *Р5* от качающейся рукоятки *Р6* через храповой механизм. Упор *У2*, связанный с лимбом *Л*, через систему рычагов воздействует на конечный выключатель *КВ*, автоматически отключая поперечное движение и давая команду на отвод стола в исходное положение после снятия установленного припуска.

Для правки круга подводят алмазно-металлический карандаш *АК* в рабочее положение с помощью цилиндра *Ц5* и реечной передачи. Движением стола вращающийся круг медленно (0,1…2 м/мин) перемещается относительно карандаша, обеспечивая съем слоя абразивного материала.

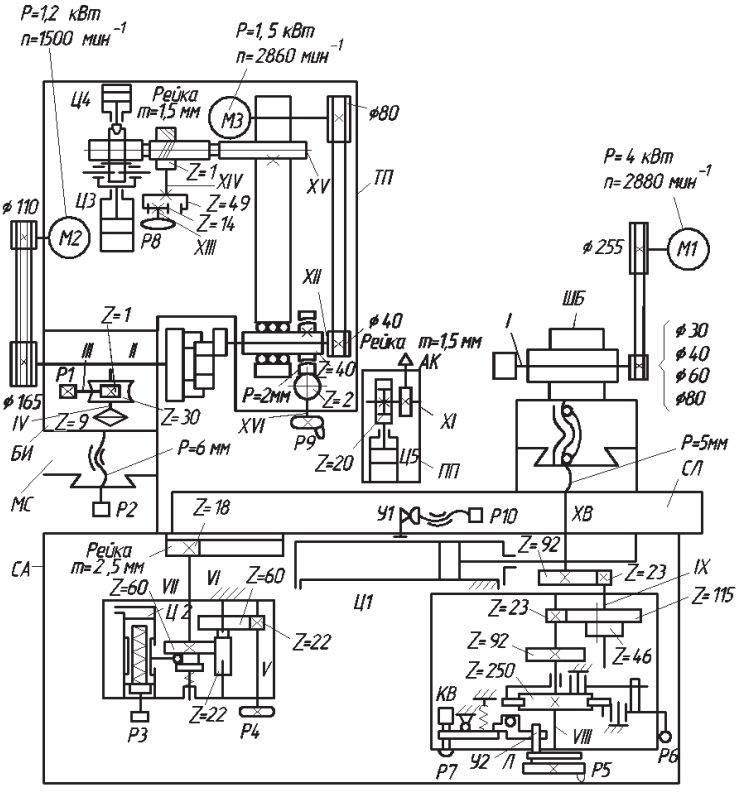


Рис. 11.30. Кинематическая схема внутришлифовального станка мод. 3К227В:
М1 — электродвигатель привода главного движения; *М2* — электродвигатель круговой подачи; *М3* — электродвигатель привода торцешлифовального приспособления; *ШБ* — шлифовальная бабка; *ТП* — торцешлифовальное приспособление; *СЛ* — стол; *СА* — станина; *МС* — мост; *БИ* — бабка изделия; *ПП* — прибор правки; *Ц1* — гидроцилиндр продольной подачи; *Ц2* — гидроцилиндр расцепления реечной передачи; *Ц3* — гидроцилиндр поворота торцешлифовального приспособления; *Ц4* — гидроцилиндр привода механизма фиксации торцешлифовального приспособления; *Ц5* — гидроцилиндр привода алмазного карандаша; *Р1* — рукоятка настройки шлифования конуса; *Р2* — рукоятка поперечного перемещения моста; *Р3* — рукоятка ручного расцепления реечной передачи; *Р4* — рукоятка ручного продольного перемещения стола; *Р5* — рукоятка ручного поперечного перемещения шлифовальной бабки; *Р6* — рукоятка толчкового ручного перемещения шлифовальной бабки; *Р7* — кнопка включения поперечного перемещения шлифовальной бабки; *Р8* — рукоятка наладочного продольного перемещения торцешлифовального приспособления; *Р9* — рукоятка углубления торцешлифовального приспособления; *Р10* — рукоятка углубления при шлифовании торцов шлифовальным кругом шлифовальной бабки; *КБ* — конечный выключатель; *У1* — упор на станине; *У2* — упор конечного выключателя *КВ*; *АК* — алмазный карандаш; *Л* — лимб; *ХВ* — ходовой винт

Торцешлифовальное приспособление ТП служит для шлифования наружного торца заготовки. Круг получает вращение от асинхронного электродвигателя *М3* через клиноременную передачу 80—40. Врезание осуществляется рукояткой *Р9*, передающей движение шлифовальной головке через червяк $Z = 2$, косозубое колесо $Z = 40$ и передачу с резьбой $P = 2$ мм. Кронштейн, несущий шпиндель *XII*,

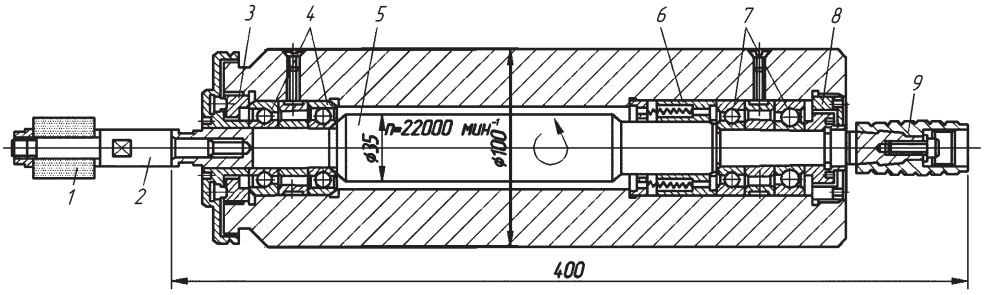


Рис. 11.31. Шлифовальная головка внутришлифовального станка:
1 — шлифовальный круг; *2* — оправка шлифовального круга; *3, 8* — гайки; *4* — подшипники передней опоры шпинделя; *5* — шпиндель; *6* — пружины автоматической выборки зазора в задней опоре шпинделя; *7* — подшипники задней опоры шпинделя; *9* — шкив привода шпинделя

отводится из рабочей зоны и подводится поворотом вокруг оси *XV* с помощью гидроцилиндра *Ц3*. Перед поворотом плунжер *Ц4* отводит фиксатор. При наладке продольное перемещение осуществляется от рукоятки *Р8*. При обработке внутреннего торца врезание осуществляется микрометрическим винтом рукояткой *Р10*. Винт поджат к упору *У1* на станине, гайка передвигается вместе со столом.

При небольшом диаметре круга трудно получить оптимальную скорость резания, так как необходима высокая частота вращения шпинделя. Так, при шлифовании отверстия диаметром 8 мм со скоростью 30 м/с шлифовальный круг должен иметь 90 000 мин$^{-1}$. В этой связи к шпиндельным узлам внутришлифовальных станков предъявляются очень высокие скоростные и точностные требования, что обусловило применение оригинальных шпиндельных узлов и их приводов в этих станках. Так, например, для шлифования твердых сплавов алмазными кругами необходима жесткость на круге 100 Н/мкм. Шлифовальную головку (рис. 11.31) закрепляют на шлифовальной бабке станка. Вращение шпинделю *5* передается плоским ремнем через шкив *9*. В опорах головки устанавливают высокоточные подшипники качения *4*, *7* с регулируемым натягом от устройства *6*. Уплотнительные бесконтактные устройства *3*, *8* надежно защищают опоры от проникновения абразива и грязи. Круг *1* закрепляют на консольной части шпинделя *2*.

Шлифование глубоких отверстий (отношение длины к диаметру составляет более 10…12) вызывает большие трудности. В зависимости от длины отверстия подбирают необходимый сменный удлинитель *2* (оправку) для шлифовального круга (см. рис. 11.31 и рис. 11.32). Для крепления оправок шлифовальных кругов предназначен внутренний или наружный конус шпинделя с допуском на радиальное и торцовое биение 3 мкм. При таком шлифовании под действием сил резания увеличивается прогиб консольной части оправки, что требует в конце обработки дополнительных ходов шлифовального круга без поперечной подачи, снижая производительность.

На рис. 11.32 показана конструкция электрошпинделя внутришлифовального станка, обеспечивающего частоту вращения круга 48 000 мин$^{-1}$ и выше. Применение электрошпинделя позволяет получить простую конструкцию привода без ременной передачи, что повышает стойкость подшипников за счет разгруз-

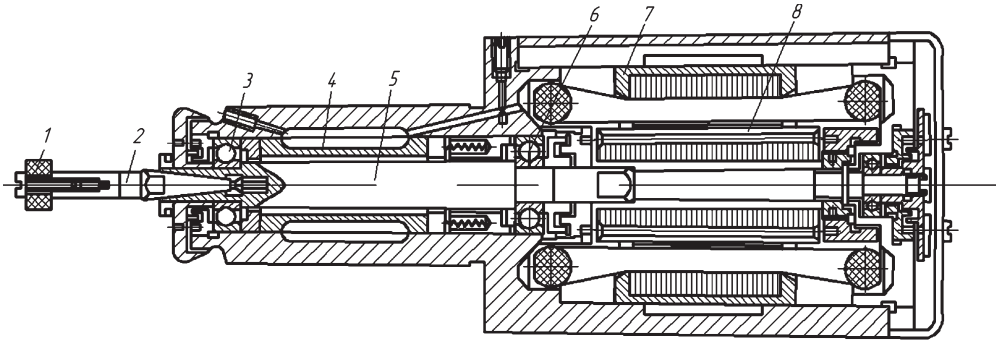


Рис. 11.32. Электрошпиндель внутришлифовального станка:
1 — шлифовальный круг; *2* — оправка шлифовального круга; *3* — передняя опора шпинделя; *4* — гильза; *5* — шпиндель; *6* — задняя опора шпинделя; *7* — статор электродвигателя; *8* — ротор электродвигателя

ки их от натяжения ремня. Электрошпиндель представляет собой асинхронный электродвигатель, работающий на повышенной частоте переменного тока (более 100 Гц), получаемой от генератора. Шлифовальный круг *1* с оправкой *2* устанавливают на шпинделе *5*, смонтированном на подшипниках *3*, *6*. К статору *7* подают для охлаждения антикоррозийную жидкость. Автоматическое регулирование натяга производится пружинами через втулку *4*. Применены лабиринтные бесконтактные уплотнения для надежной защиты опор и электрообмоток двигателя.

В серийном производстве обрабатываемые заготовки измеряются, как правило, электронными измерительными устройствами. Заготовка измеряется во время обработки щупом и индуктивным датчиком перемещения. По достижении заданного размера система управления дает команду системе управления станком, которая может быть, например, командой о переходе с черновой обработки на чистовой режим или на окончание шлифования. Диапазон измерения составляет 0,5 мм, погрешность измерения в зависимости от типа станка 0,1…1 мкм. На станках, обслуживаемых вручную, устанавливаются простые измерительные устройства, позволяющие провести индикацию размеров. Ощупывающие и бесконтактные пневматические измерительные приборы имеют диапазон измерений 0,1 мм и погрешность измерения около 1 мкм.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

Зубообрабатывающие станки для обработки цилиндрических колес

12.1. Станки для обработки зубчатых колес лезвийным инструментом

Наибольшее распространение в машиностроении получили зубчатые колеса с малочувствительным к изменению межосевого расстояния эвольвентным зацеплением. Для получения высокой точности и производительности часто сначала производят черновое зубонарезание (зубофрезерование, зубодолбление, зубострогание) на предельных режимах резания, а затем выполняют чистовую обработку — отделку: шевингование, шлифование и др. (рис. 12.1). Используют два принципиально различных метода формообразования — копирование и обкат (рис. 12.2).

При методе копирования (см. рис. 12.2) в качестве инструмента применяют дисковые *2* и пальцевые *3* фрезы в единичном производстве, зуборезные головки и протяжки — в массовом. Профиль их режущей кромки совпадает с профилем впадины зуба и при обработке копируется на заготовке *1*. Сложный (эвольвентный) профиль режущей кромки такого инструмента позволяет выполнять обработку по этому методу при минимальном числе формообразующих движений на станках с простой кинематикой.

Дисковые и пальцевые модульные фрезы должны быть подобраны в соответствии с числом нарезаемых зубьев, углом подъема винтовой линии и настроены на расчетное межосевое расстояние. Отклонения шага профиля, вызванные погрешностями периодического деления и износом инструмента, не позволяют получить колеса выше 10-й и 9-й степеней точности (ГОСТ 1643—81), что на одну-две степени хуже, чем при методе обката.

Применяемые на специальном оборудовании зуборезные (зубодолбежные) головки (рис. 12.3) представляют собой устройство, в корпусе *5* которого установлены резцы *3*, по числу и профилю режущей кромки совпадающие с числом зубьев и профилем нарезаемого колеса *4*. В процессе обработки резцы, перемещаясь в радиальном направлении с помощью сводящих *1* (при рабочем ходе) и разводящих *2* (при вспомогательном ходе) колец, постепенно подаются к центру заготовки, обеспечивая одновременное нарезание всех зубьев. Как и протяжки, зуборезные головки предназначены для нарезания зубьев лишь на колесах, имеющих одинаковые параметры.

При обработке по методу обката профиль (боковая сторона) зуба образуется в результате совершаемых на станке движений обката инструмента и заготов-

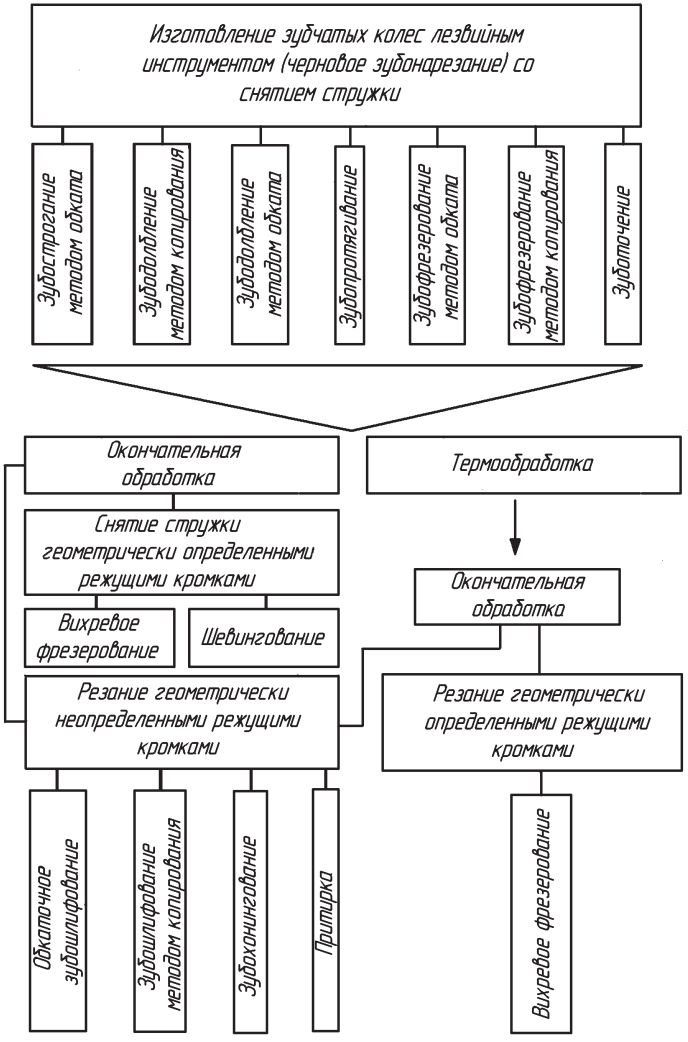


Рис. 12.1. Классификация и типовые варианты технологических процессов обработки зубчатых колес резанием

ки друг относительно друга. Это достигается с помощью кинематической связи между инструментом и заготовкой, выполняемой в большинстве случаев в виде кинематической цепи.

В целях стандартизации и упрощения конструкции инструмент, применяемый при обкате, имеет прямолинейные боковые поверхности, т.е. отличается от профиля впадины. Исходным контуром для цилиндрических зубчатых колес является нормальное сечение зубчатой рейки (рис. 12.4). Профиль исходной рейки характеризуется углом профиля $\alpha_n = 20^\circ$, шагом зубьев $P_n = \pi m$, расчетной высотой зуба $h_и$ и его головки h', а также толщиной зуба по нормали $S_n = P_n - S'_n$, где S'_n — толщина зуба нарезаемого колеса по нормали.

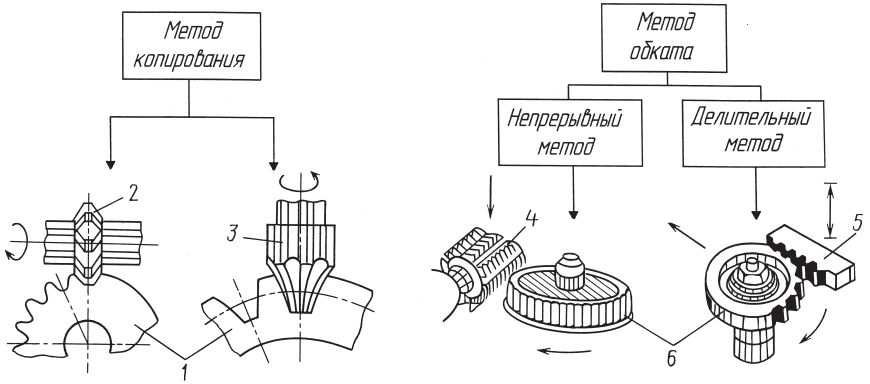


Рис. 12.2. Методы обработки профилей зубьев цилиндрических колес

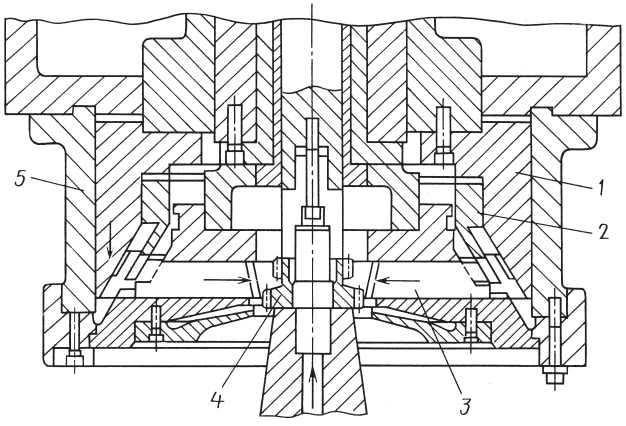


Рис. 12.3. Зубодолбежная головка

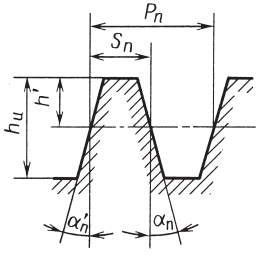


Рис. 12.4. Исходный контур

Инструменты, работающие по методу обката, более универсальны, так как позволяют нарезать одним инструментом данного модуля колеса практически с любым числом зубьев.

При нарезании по методу обката цилиндрических колес с прямым и винтовым зубьями в процессе обработки имитируется зацепление воображаемого зубчатого колеса или зубчатой рейки с нарезаемым колесом-заготовкой *1* (рис. 12.5, *а*). Роль воображаемого зубчатого колеса выполняет инструмент — зуборезный долбяк *2*, а роль рейки — зуборезные гребенки *5* (см. рис. 12.2) или червячные модульные фрезы *4* (см. рис. 12.2). Профилирование одной впадины зубчатого венца показано на рис. 12.5, *б*.

Зубострогание методом обката прямобочным инструментом, имеющим форму рейки, нашло применение при обработке крупных зубчатых колес. Применение зубострогальных станков связано, в первую очередь, с меньшей (на порядок) стоимостью изготовления и эксплуатации инструмента по сравнению с крупномодульной червячной фрезой. Кинематика способа обработки гребенками соответствует обкатке цилиндрического колеса по зубчатой рейке (см. рис. 12.2). Эвольвентная форма боковых поверхностей зубьев образуется в результате вы-

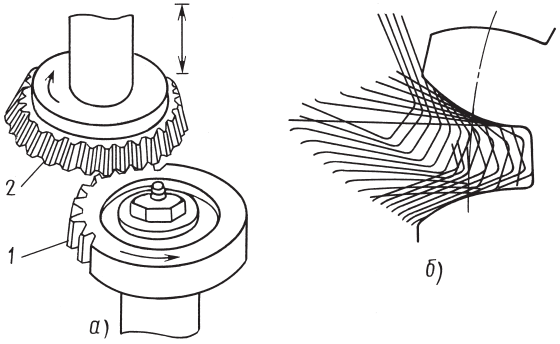


Рис. 12.5. Схемы нарезания зубчатых колес методом обката:
а — долбяком; *б* — профилирование зубчатого венца червячной фрезой

полнения прямой режущей кромкой гребенки *5* (см. рис. 12.2) движения обката при одновременном возвратно-поступательном движении вдоль зуба колеса *6*. Так как число зубьев инструмента, как правило, меньше числа зубьев нарезаемого колеса, то обкат по активной длине гребенки осуществляется многократно, для чего в кинематике станка предусмотрено периодическое деление. Обкат и отвод гребенки повторяют до тех пор, пока на заготовке не будут нарезаны все зубья.

Зубодолбежные станки непригодны для нарезания червячных колес. Однако они имеют преимущества по сравнению с зубофрезерными при обработке зубчатых колес небольшой ширины (из-за малого времени врезания долбяка в заготовку), при комбинированной (черновой и чистовой) обработке колес малого модуля и из высокопрочного материала. На зубодолбежных станках можно нарезать колеса с внутренним зубом небольшого диаметра.

12.1.1. Зубофрезерные станки

Станки работают как методом обката, так и копирования. Зубофрезерование методом обката производится червячной фрезой (рис. 12.6), которая может быть представлена в виде совокупности закрепленных на цилиндрической поверхности гребенок, смещенных друг относительно друга. В процессе обработки происходит взаимный обкат инструмента с заготовкой подобно обкату червяка с колесом в червячной передаче. При этом образуется узкая полоска на боковой поверхности заготовки (след фрезы).

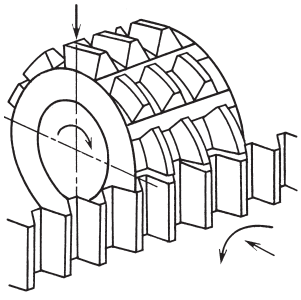


Рис. 12.6. Схема зубофрезерования червячной фрезой

На рис. 12.7 указаны важнейшие способы фрезерования методом обката, осуществляемые на универсальных зубофрезерных станках. При этом методе применяется в основном способ продольной (вдоль оси заготовки) подачи (рис. 12.7, *а—г*). В средне- и крупносерийном производстве используют также фрезерование с угловой (в направлении наклона зуба) подачей.

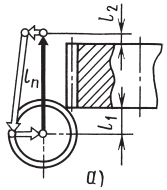
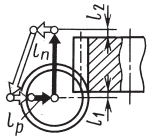
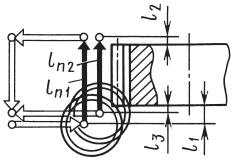
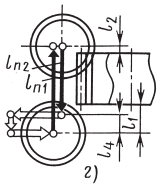
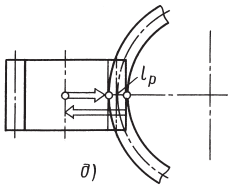
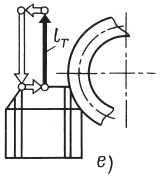
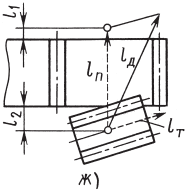
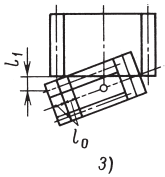
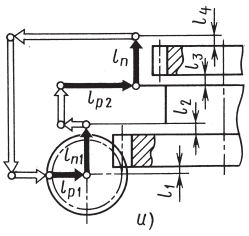
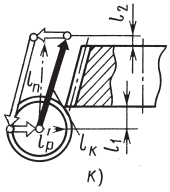
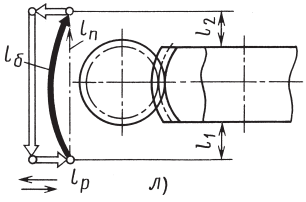
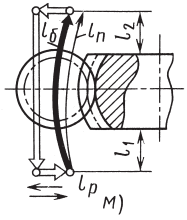
Способ продольной подачи	Способ радиально-продольной подачи	Многопроходный способ продольной подачи
 а)	 б)	 в)
Многопроходный способ продольной подачи	**Способ радиальной подачи**	**Способ тангенциальной подачи**
 г)	 д)	 е)
Способ диагональной подачи	**Обработка с периодическим перемещением фрезы**	**Обработка зубчатых колес**
 ж)	 з)	 и)
Обработка колес с конусным зубом	**Обработка колес с бочкообразным зубом**	**Обработка колес с конусно-бочкообразным зубом**
 к)	 л)	 м)

Рис. 12.7. Способы обработки зубчатых колес на зубофрезерных станках методом обката: —— — движение подачи; ═══ — ускоренный ход; – – – — перемещение суппорта (при наложении движения); o — точка включения; $l_т$ — тангенциальное перемещение фрезы; $l_п$ — продольное перемещение; $l_д$ — диагональное перемещение; $l_к$ и $l_р$ — конусное и радиальное перемещение; $l_б$ — сферическое (конусно-сферическое) перемещение; $l_о$ — шаг осевой передвижки фрезы; l_1 и l_3 — размеры врезания; l_2 и l_4 — перебеги

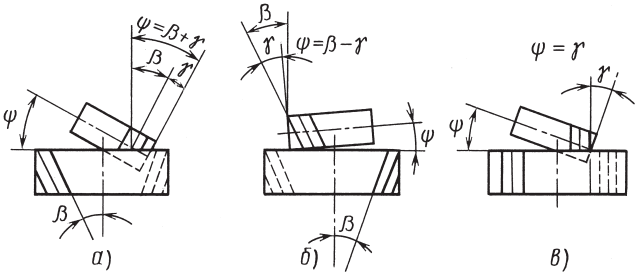


Рис. 12.8. Установка шпинделя фрезы относительно нарезаемых цилиндрических колес: *а* — при разноименных направлениях винтовых линий на фрезе и на колесе; *б* — при одноименных направлениях винтовых линий на фрезе и на колесе; *в* — прямозубых; γ — делительный угол подъема линии витка фрезы; ψ — угол наклона суппорта фрезы

При зубофрезеровании способом диагональной подачи (рис. 12.7, *ж*) червячная фреза одновременно выполняет движение подачи в продольном и тангенциальном (вдоль оси инструмента) направлениях. При этом зона максимальной механической и температурной нагрузки на режущие кромки перемещается в направлении оси фрезы, что снижает износ, позволяет использовать всю рабочую длину фрезы и осуществлять обработку на предельных режимах резания. Применяют также периодическое перемещение отведенной от заготовки фрезы вдоль своей оси после окончания обработки (рис. 12.7, *з*), что позволяет вести последующее фрезерование новым рабочим участком и повысить стойкость инструмента и качество обработки.

Зубчатые колеса с модифицированным по длине зубом (рис. 12.7, *к*—*м*) — это колеса с малым углом конуса при вершине; колеса с бочкообразным зубом обрабатывают с использованием движения подачи по двум направлениям. Продольная подача назначается технологически необходимой, а скорость движения второй подачи (радиальной) зависит от первой и изменяется по определенному закону в целях получения заданной траектории перемещения инструмента.

При нарезании косозубых колес ось фрезы устанавливают таким образом, чтобы направление витков червячной нарезки совпадало с направлением зубьев обрабатываемого колеса (рис. 12.8).

При фрезеровании червячных колес выбор типа червячной фрезы зависит от вида профиля червяка и от используемого метода фрезерования: с радиальным (см. рис. 12.7, *д*) или тангенциальным (см. рис. 12.7, *е*) движением подачи. При радиальном врезании (рис. 12.9, *а*) оси заготовки и инструмента сближаются до тех пор, пока червячная фреза не углубится на полную высоту профиля.

При тангенциальном врезании (рис. 12.9, *б*) межосевое расстояние *А* устанавливают перед обработкой и в последующем не меняют.

Основная часть припуска снимается заборным конусом фрезы, а цилиндрическая часть фрезы выполняет калибрующую обработку, обеспечивая требуемые размеры колеса. Неизменность межосевого расстояния в процессе обработки, наличие на фрезе калибрующей части делают метод нарезки тангенциальным врезанием более точным по сравнению с радиальным. В единичном производстве червячное колесо можно нарезать фрезой-летучкой, имеющей один режущий зуб, выполненный по профилю рейки и вставленный в оправку, которую

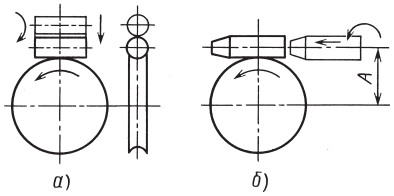


Рис. 12.9. Схемы нарезания червячных колес червячной фрезой:
а — с радиальным врезанием; *б* — с тангенциальной подачей инструмента

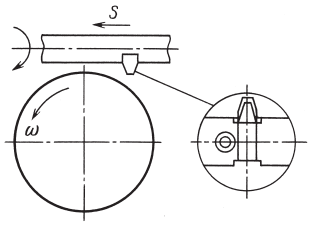


Рис. 12.10. Схема нарезания червячного колеса однозубой фрезой

закрепляют в шпинделе зубофрезерного станка (рис. 12.10), при этом также используется метод тангенциального врезания.

Размеры зубофрезерных станков определены размерным рядом в виде геометрической прогрессии, который образуют наибольшие диаметры обрабатываемых колес. Выпускают станки с размерами: горизонтальные — 80, 125, 200, 320, 500, 800 и 1250 мм; вертикальные — 125, 200, ..., 12 500 мм. Основные параметры и размеры горизонтальных станков регламентированы ГОСТ 18065—91, вертикальных — ГОСТ 659—89.

При соблюдении общепринятых условий работы может обеспечиваться следующая точность нарезаемых колес (по показателям точности, зависящим от станка):

• станки классов Н, П могут обеспечить обработку колес по 7...5-й степени точности (ГОСТ 1643—81) при работе червячными фрезами и 9...8-й — при работе дисковыми и пальцевыми фрезами;

• станки классов В, А и С при обработке червячными фрезами колес модуля до 12 мм позволяют получить степени точности 4…2. Мастер-станки, представляющие собой модификации станков класса С, при обработке червячных колес могут обеспечить степень точности 1.

Небольшие и средние универсальные станки (с наибольшим диаметром обрабатываемого колеса до 800…1250 мм) имеют компоновку с неподвижной стойкой (рис. 12.11, *а*) и подвижным столом. Станки больших размеров, а также станки с автоматической загрузкой заготовок имеют, как правило, компоновку с подвижной стойкой и неподвижным столом (рис. 12.11, *б*). Последняя обеспечивает бóльшую жесткость упругой системы станка и лучшие условия для автоматизации.

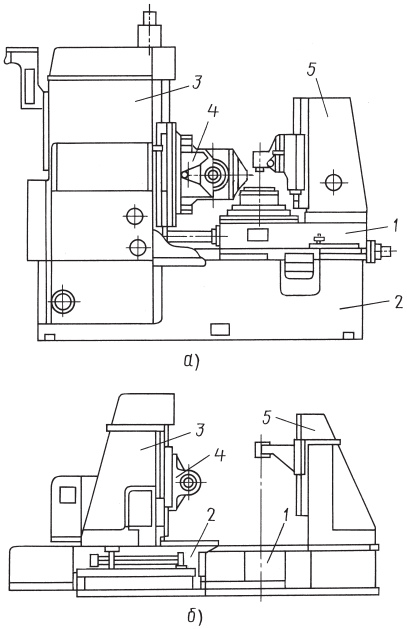


Рис. 12.11. Компоновки вертикальных зубофрезерных станков с подвижным столом (*а*) и с подвижной стойкой (*б*):
1 — стол; *2* — станина; *3* — стойка; *4* — фрезерный суппорт; *5* — задняя стойка

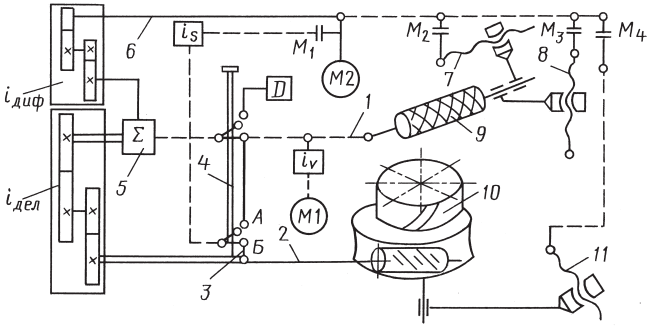


Рис. 12.12. Кинематическая структура зубофрезерного станка

На рис. 12.12 показана одна из возможных кинематических структур универсального зубофрезерного станка. Цепь главного движения *1* соединяет электродвигатель *M1* постоянного или переменного тока со шпинделем фрезы через коробку скоростей (гитару) i_v. Расчетные перемещения для этой цепи:

$$n_э \rightarrow n_ф,$$

где $n_э$ и $n_ф$ — частоты вращения, мин$^{-1}$, электродвигателя *M1* и фрезы *9* соответственно. Диапазон изменения частот вращения фрезы, как правило, превышает 10.

Различают продольную *8* (вдоль оси заготовки), тангенциальную *7* (вдоль оси фрезы) и радиальную *11* (по отношению к заготовке) подачи на зубофрезерных станках.

При обработке цилиндрических колес продольное перемещение фрезы вдоль оси заготовки распространяет формообразование поверхности зуба на всю ширину колеса. Тангенциальная и радиальная подачи распространяют обработку на весь профиль зуба. При обработке цилиндрических колес радиальная подача является, как правило, установочным движением.

При фрезеровании червячных колес радиальная или тангенциальная подача — рабочая. При любом методе одновременно с врезанием совершается движение обката. Чаще всего привод цепи подачи *3* подключают к одному из промежуточных валов цепи обката *2* (привод подачи, связанный с приводом главного движения), расположенному между гитарой деления $i_{дел}$ и делительным червячным колесом, так как в этом случае подача, отнесенная к одному обороту заготовки, не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса. При работе по методу обката принято назначать подачу в миллиметрах на один оборот (мм/об) заготовки, так как именно такая подача характеризует сечение стружки и влияет на огранку вдоль зуба. В этом случае для гитары подач расчетные перемещения имеют вид:

1 об. заготовки $\rightarrow S$, мм, перемещения фрезы относительно заготовки в одном из трех направлений.

Передаточное отношение гитары подач i_s определяется по формуле

$$i_s = C_s S,$$

где C_s — постоянный коэффициент для данного станка настраиваемой цепи подачи. Диапазон подач S лежит в пределах от 0,5 до 10 мм на один оборот заготовки.

Цепи продольной *8*, радиальной *11* и тангенциальной *7* подач во многих станках совмещены, и движение с одной цепи на другую переключается с помощью муфт M_2, M_3 и M_4 или передвижного колеса (на рис. 12.2 не показано).

В некоторых зубофрезерных станках применяют «независимый» привод подачи от отдельного асинхронного или регулируемого в широком диапазоне электродвигателя *M2*. В этом случае более простую гитару подач i_s располагают между электродвигателем *M2* и дифференциальной цепью *6*, и условие кинематического согласования перемещений конечных звеньев цепей подач будет иметь вид

$$n_{M2}, \text{ мин}^{-1}, \text{ электродвигателя } M2 \rightarrow S, \text{ мм, перемещения фрезы относительно заготовки.}$$

При работе методом единичного деления дисковыми или пальцевыми фрезами подача исчисляется на один оборот фрезы или в единицу времени (минуту).

При обработке по методу обката вращения фрезы *9* и заготовки *10* согласованы между собой цепью *2* обката благодаря жесткой кинематической связи с постоянным передаточным отношением. Цепь обката получает вращение от главного электродвигателя *M1* при положении *Б* рукоятки *4* цепи обката. Нужное согласование в этой цепи устанавливается гитарой деления $i_{\text{дел}}$, для настройки которой расчетные перемещения фрезы и заготовки записывают:

$$1 \text{ об. фрезы} \rightarrow Z'/Z \text{ об. заготовки,}$$

где Z' — число заходов фрезы; Z — число зубьев нарезаемого колеса.

Цепь обката целесообразно проектировать так, чтобы максимальные значения передаточных отношений приходились на конечные звенья. При этом промежуточные элементы кинематической цепи нагружены меньшим моментом, их геометрические погрешности и деформации меньше сказываются на результирующей точности станка.

Формула настройки гитары деления имеет вид

$$i_{\text{дел}} = BZ'/Z,$$

где B — постоянный для данного станка коэффициент (выбирают исходя из требований настройки гитары деления на всем диапазоне чисел зубьев от $Z_{\min}$ до $Z_{\max}$ в пределах $Z_{\max}/25 \le B \le 2Z_{\min}$).

Для удобства подбора сменных колес коэффициент B выбирают также с учетом возможности разложения его на максимальное число простых множителей.

При обработке по методу копирования рукоятка *4* переключается в положение *А* — для реализации движения деления. Поворот заготовки на один шаг (зуб) производится механизмом единичного деления *D* со своим приводом, а настройка на нужное число зубьев — той же гитарой деления.

Цепь дифференциала *6* используется при обработке косозубых колес для согласования движения фрезы вдоль оси заготовки и дополнительного поворота заготовки, величина которого должна быть такой, чтобы перемещению фрезы

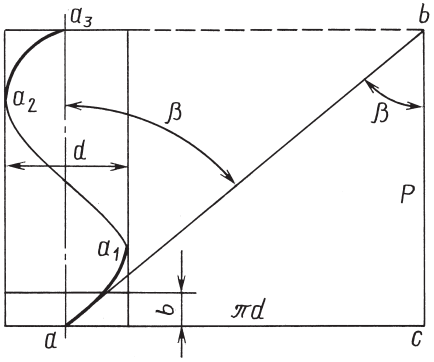


Рис. 12.13. Развертка винтовой линии зуба

на шаг винтовой линии зуба соответствовал один оборот заготовки, т. е.:

1 об. заготовки → P, мм, относительного перемещения фрезы вдоль оси заготовки,

где P — шаг винтовой линии зуба.

На рис. 12.13 показана развертка винтовой линии зуба нарезаемого косозубого колеса, продолженная за пределы его ширины b. При этом на плоскости образуется треугольник abc, в котором bc — шаг винтовой линии P, а ac — развертка окружности делительного диаметра цилиндра, равная πd.

Из треугольника abc получаем

$$P = \pi d \operatorname{ctg}\beta \text{ или } P = \pi m_n Z \operatorname{ctg}\beta = \pi m_n Z/\sin\beta \qquad (12.1)$$

(так как $m_t = m_n/\cos\beta$, где m_t и m_n — торцовый и нормальный модуль нарезаемого колеса соответственно).

На зубофрезерных станках, работающих по методу обката, дополнительный доворот заготовки осуществляется с помощью механизма дифференциала ($\sum$) *5* (см. рис. 12.12). Эта же цепь используется при обработке цилиндрических колес методом диагональной подачи, колес с большим простым числом зубьев, червячных колес методом тангенциального врезания.

При расположении дифференциала между фрезой и гитарой деления передаточное отношение гитары дифференциала не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса и ее формула настройки имеет вид

$$i_{\text{диф}} = C\sin\beta/(\pi m_n).$$

Поскольку формула содержит иррациональное число π, для уменьшения погрешности настройки шаг ходового винта *8*, осуществляющего перемещение фрезы вдоль оси заготовки, часто делают кратным π, тогда

$$i_{\text{диф}} = C\sin\beta/(Z'm_n).$$

Точность настройки гитары дифференциала может быть задана, исходя из допускаемого отклонения направления зуба $F_{\beta r}$. На рис. 12.14 показана развертка делительного цилиндра зубчатого колеса шириной b, где EF — положение винтовой линии зуба колеса при отсутствии погрешности угла наклона линии зуба; EG — положение винтовой линии зуба колеса при погрешности угла наклона линии зуба $\Delta\beta$:

$$F_{\beta r} = \frac{b\sin\Delta\beta}{\cos(\beta+\Delta\beta)}; \quad \Delta\beta = \frac{F_{\beta r}\cos\beta}{b}; \quad \Delta i_{\text{диф}} = i_{\text{диф}}\frac{\Delta\beta}{\operatorname{tg}\beta}.$$

Подставляя $\Delta\beta$, получим

$$\Delta i_{\text{диф}} = \frac{\cos^2\beta}{b\sin\beta} i_{\text{диф}} F_{\beta r}.$$

Цепь дифференциала используют также при нарезании червячных колес методом тангенциальной подачи. В этом случае при осевом перемещении фрезы на величину L она должна дополнительно повернуться на угол $\Delta\varphi$, определяемый из соотношения

$$L = \pi m_s Z' \Delta\varphi,$$

где m_s — осевой модуль; $\Delta\varphi$ — доли оборота фрезы.

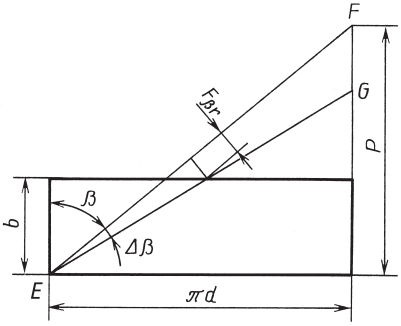


Рис. 12.14. Схема для определения точности настройки гитары дифференциала

Если осевое перемещение фрезы составляет один ход ее витка, то дополнительный поворот фрезы составит один оборот, а заготовки — соответственно $\varphi_{\text{доп}} = Z'/Z$ оборота, т.е. выполняется расчетное соотношение

$$\pi m_s Z' \to 1 \text{ об. фрезы} \to Z'/Z \text{ об. заготовки.}$$

Для настройки тангенциальной подачи фрезы используется та же гитара дифференциала, передаточное отношение которой

$$i_{\text{диф}} = C_{\text{т}}/(m_s Z'),$$

где $C_{\text{т}}$ — постоянный коэффициент.

Цепь дифференциала можно использовать для настройки станка на обработку зубчатых колес с простым числом зубьев, когда невозможно осуществить такую операцию путем настройки только гитары деления. Таким способом могут быть нарезаны прямозубые и косозубые колеса. Гитару деления настраивают на требуемое число зубьев приблизительно, а погрешность компенсируют путем поворота заготовки с помощью цепи дифференциала.

К кинематическим цепям, осуществляющим дополнительные движения формообразования, относится цепь единичного деления в приводе стола, которая применяется при обработке зубчатых колес методом копирования пальцевыми или дисковыми фрезами. Она сообщает одному из валов привода определенное число оборотов для поворота стола на угол $1/Z$.

Формула настройки гитары единичного деления имеет вид

$$i_{\text{дел}} = B'/Z.$$

Цепь дифференциала при обработке методом единичного деления косозубых колес настраивается так же, как и при обкате:

$$i_{\text{диф}} = C'\sin\beta/(m_n Z').$$

Бездифференциальная настройка при обработке косозубых колес предусматривает измененные расчетные перемещения для гитары деления, которая в этом случае для получения винтового зуба должна обеспечить при относительном перемещении фрезы вдоль оси заготовки на величину $S_{\text{п}}$, мм, дополнитель-

ный поворот заготовки на $S_п/P$ оборота, что соответствует дополнительному повороту фрезы на $\pm(Z/Z')(S_п/P)$ оборота. Следовательно, расчетные перемещения для гитары деления $i_{дел}$ должны учитывать как получение профиля зуба за счет поворота фрезы на Z/Z' оборота при одном обороте заготовки, так и винтовой линии по длине зуба и записываться:

$$1 \text{ об. заготовки } \rightarrow \left(\frac{Z}{Z'} \pm \frac{Z}{Z'} \cdot \frac{S_п}{P} \right) \text{ об. фрезы.} \qquad (12.2)$$

Значение подачи $S_п$ в формуле (12.2) необходимо подставлять с высокой точностью.

При этом способе обработки кинематическое суммирование движений в дифференциале заменяют математическим суммированием в цепи обката. При одноименных направлениях винтовых линий зуба колеса и витков червячной фрезы (желательный случай) берется знак «–», при разноименных — знак «+».

Бездифференциальная структура проще за счет меньшего количества цепей и гитар и отличается большей жесткостью цепи обката. Однако цепь обката надо настраивать заново при изменении подачи $S_п$, например при переходе от черновой к чистовой обработке, или при нарезке сопряженного колеса, имеющего противоположный угол наклона винтовой линии. К тому же передаточная величина гитары обката получается дробной, что затрудняет точную настройку важнейшей цепи. Поэтому бездифференциальную настройку используют в крупносерийном производстве.

Зубофрезерный станок мод. 53А50 предназначен для нарезания червячными фрезами цилиндрических и червячных колес в условиях единичного или серийного производства. Класс точности станка — П. Техническая характеристика приведена ниже.

Диаметр обрабатываемых колес, мм, не более 500
Модуль обрабатываемых колес, мм, не более 10
Частота вращения фрезы, мин$^{-1}$ ..... 40...405
Подача, мм/об:
  продольная ..... 0,75...7,5
  радиальная ..... 0,22...2,25
  тангенциальная ..... 0,13...2,6
Габариты станка, мм ..... 2670×1810×2250
Мощность главного электродвигателя, кВт 8/10/12,5

Станок (рис. 12.15) имеет вертикальную компоновку: оправка с заготовкой закрепляется вертикально на столе *4* и может удерживаться сверху контрподдержкой *3*. Шпиндель червячной фрезы расположен на суппорте *2* и вращается согласовано с заготовкой. Протяжная часть суппорта (ползушка) может перемещаться вдоль оси фрезы (движение тангенциальной, т.е. касательной к окружности заготовки, подачи). Суппорт соединен с кареткой и вместе с ней движется по вертикальным направляющим стойки *1* (движение продольной подачи). Стойка закреплена на станине *5*. На горизонтальных направляющих станины базируются салазки стола, которым сообщается движение радиальной подачи.

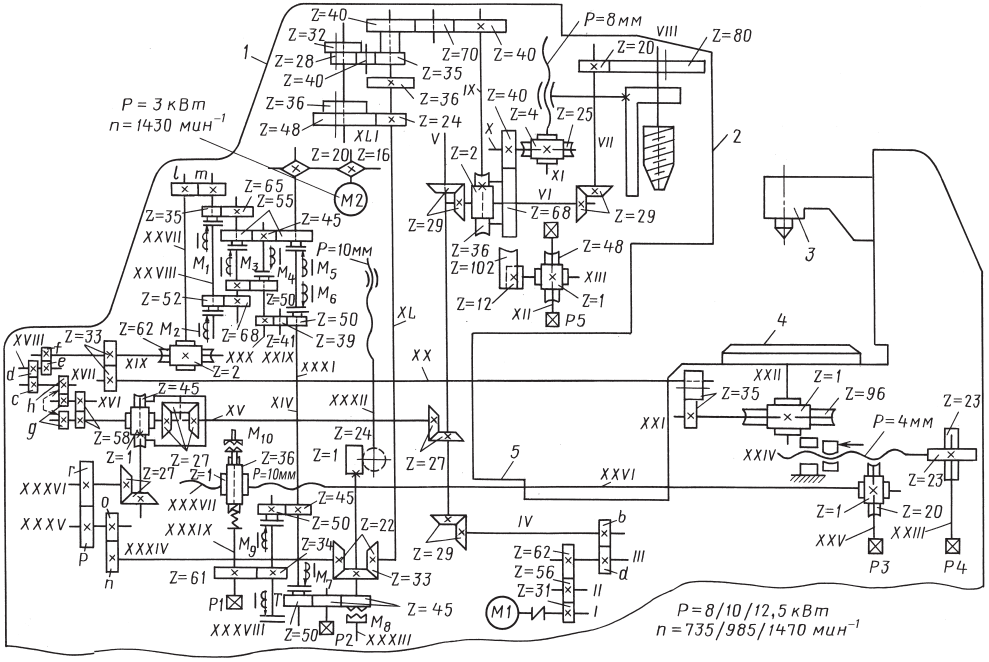


Рис. 12.15. Кинематическая схема зубофрезерного станка мод. 53А50

Цепь главного движения соединяет трехскоростной электродвигатель *M1* со шпинделем *VIII* фрезы. Переключением обмоток электродвигателя и настройкой гитары скоростей *a/b* получают 16 скоростей (частот вращения) фрезы. Уравнение кинематического баланса для цепи главного движения: $n_э$ (об. электродвигателя *M1*)

$$n_э \text{ (об. электродвигателя } M1) \cdot \frac{31}{56}\frac{56}{62}\cdot\frac{a}{b}\cdot\frac{29}{29}\frac{29}{29}\frac{29}{29}\frac{20}{80} = n_ф \text{ об. фрезы.}$$

Формула настройки гитары скоростей

$$i_v = a/b = 8n_ф/n_э.$$

Цепь обката согласовывает движения червячной фрезы и заготовки, связывая валы *VIII*, *VII*, *VI*, *V*, *XIV*, *XV*, …, *XXII*. Сменные колеса *c*, *d*, *e*, *f* составляют гитару деления (обката). Зубчатые колеса *g* и *h* расширяют диапазон настройки.

Уравнение кинематического баланса для цепи обката

$$1(\text{об. червячной фрезы})\cdot\frac{80}{20}\cdot\frac{29}{29}\cdot\frac{29}{29}\cdot\frac{27}{27}\cdot i'_{диф}\cdot\frac{58}{58}\cdot\frac{g}{h}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{33}{33}\cdot\frac{35}{35}\cdot\frac{1}{96} =$$

$$= \frac{Z'}{Z} \text{ (об. заготовки).}$$

Учитывая, что в данном случае передаточное отношение дифференциала $i'_{диф} = 1$, получим формулу настройки гитары деления

$$i_{\text{дел}} = \frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} = 24 \frac{h}{g} \cdot \frac{Z'}{Z}.$$

Цепь продольной подачи служит для перемещения суппорта вдоль оси нарезаемого колеса. Движение от главного электродвигателя *M1* передается на вал *XIX* и червячную передачу 2/26, затем через коробку подач на вал *XXXI*, далее при включенных муфтах M_7 и M_8 через колеса 50—45—45, червячную передачу 1/24 на вертикальный ходовой винт с шагом $P = 10$ мм. Ходовая гайка связана с кареткой суппорта.

Две пары обратимых (которые можно менять местами) сменных колес l и m и четыре передачи, переключаемые электромагнитными муфтами $M_1 \ldots M_4$, позволяют получить 16 ступеней подач. Переключение муфт M_5 и M_6 реверсирует движение подачи.

Цепь дифференциала согласовывает вертикальное перемещение каретки от ходового винта продольной подачи с вращением стола, т.е. соединяет валы *XXXII* … *XXXVII*, *XV*…*XXII*. Вал *XXXVII* привода водила дифференциала связан с валом *XV* через червяк $Z = 1$, червячное колесо *45*, водило, сателлиты и левое центральное колесо дифференциала. *Дополнительный* поворот заготовки, необходимый для нарезания косозубых колес, суммируется с вращением, необходимым для создания эвольвенты, с помощью дифференциала с коническими колесами $Z = 27$, расположенного на валу *XIV*.

Уравнение кинематического баланса для получения винтовой линии

$$1 \text{ (об. заготовки)} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{h}{g} \cdot i'_{\text{диф}} \cdot \frac{45}{1} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{r}{P} \cdot \frac{o}{n} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 \text{ (мм)} =$$

$$= P \text{ (мм) перемещения каретки.}$$

Подставив в данное уравнение выражение (12.1) для P, а также

$$\frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h} = 24 \frac{Z'}{Z} \text{ и } i'_{\text{диф}} = \frac{1}{2}$$

(в коническом дифференциале водило вращается вдвое медленнее центрального колеса), получим формулу настройки гитары дифференциала при обработке косозубого колеса

$$i_{\text{диф}\beta} = \frac{n}{o} \cdot \frac{P}{r} = \frac{7{,}957747 \sin\beta}{m_n Z'}.$$

При обработке *червячного колеса с радиальным врезанием* движение передается по цепи радиальной подачи стола. При вращении ходовой гайки невращающийся винт с $P = 10$ мм (вал *XXVI*) передвигается вместе со столом. Гайка расположена внутри червячного колеса *36* и получает вращение от вала *XXXI* при включенной муфте M_9 через передачи 45/50, 34/61 и 1/36. При этом муфта M_{10} сцеплена под действием пружины, обеспечивая работу до жесткого упора; муфта *T* тормозит стол.

При обработке *червячного колеса с тангенциальным врезанием* движение передается по цепи тангенциальной подачи ползушке суппорта червячной фрезы.

Винт с шагом $P = 8$ мм (вал *XI*) получает вращение от вала *XXXIII* через коническую передачу *33/22*, блок $i'_б$ изменения скорости 36—48, блок реверсирующего устройства 28—32, колеса 70 и 40, передачи 2/36, 68/40, 4/25.

Уравнение кинематического баланса для этой цепи имеет вид

$$1\ (\text{об. стола}) \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot i'_{кп} \cdot \frac{45}{55} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{33}{22} \cdot i''_б \times$$
$$\times \frac{28}{40} \cdot \frac{40}{35} \cdot \frac{40}{70} \cdot \frac{70}{40} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{68}{40} \cdot \frac{4}{25} \cdot 8\ (\text{мм}) = S_0\ (\text{мм}).$$

Скорость тангенциального врезания $S_0 = 0{,}97 i'_{к.п} i'_б$, где $i'_{к.п}$ — передаточное отношение коробки подач (между валами *XXVII* и *XXX*), $i'_б = 24/48$ или $36/36$.

При нарезании червячных колес методом тангенциального врезания сложение движений заготовки в процессе обката и тангенциального перемещения инструмента, как и при нарезании косозубого колеса, осуществляет дифференциал. Уравнение кинематического баланса цепи дифференциала при тангенциальном врезании имеет вид

$$1\ (\text{об. стола}) \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{h}{g} \cdot i'_{диф} \cdot \frac{45}{1} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{r}{p} \cdot \frac{o}{n} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{33}{22} \times$$
$$\times i'_б \cdot \frac{28}{40} \cdot \frac{40}{35} \cdot \frac{40}{70} \cdot \frac{70}{40} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{68}{40} \cdot \frac{4}{25} \cdot 8\ (\text{мм}) = \pi m_x Z\ (\text{мм})\ \text{осевого}$$

перемещения фрезы.

При

$$\frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h} = 24 \frac{Z'}{Z},\ \ i'_{диф} = 1/2$$

гитара дифференциала при нарезке червячных колес рассчитывается методом тангенциального врезания по формуле

$$i_{диф.т} = \frac{n}{o} \cdot \frac{p}{r} = \frac{2{,}770569}{m_s Z'} \cdot i'_б.$$

Гитара дифференциала для нарезания косозубых колес с диагональной подачей настраивается по формуле

$$i_{диф.диаг} = \frac{n}{o} \cdot \frac{p}{r} = i_{диф.\beta} \pm i_{диф.т}.$$

После подстановки полученных для $i_{диф.\beta}$ и $i_{диф.т}$ выражений

$$i_{диф.диаг} = \frac{7{,}957747 \cdot \sin\beta}{m_n Z'} \pm \frac{2{,}770569}{m_s Z'} \cdot i''_б.$$

При одноименных направлениях винтовых линий зуба колеса и витков червячной фрезы берется знак «–», при разноименных — «+».

С диагональной подачей можно обрабатывать все прямозубые колеса и лишь

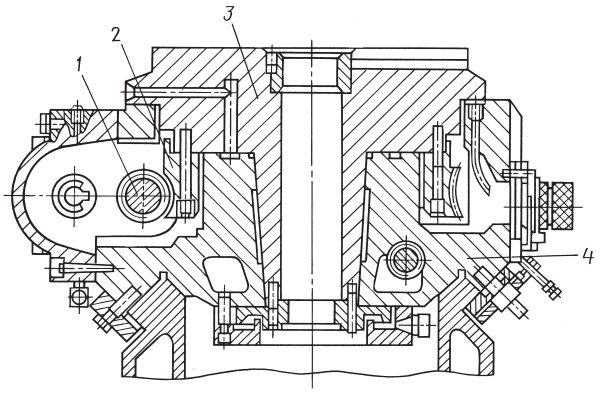


Рис. 12.16. Стол станка мод. 53А50

незначительную часть косозубых, так как при больших углах наклона зуба в резании участвует почти вся рабочая часть фрезы, а в некоторых случаях длины фрезы бывает недостаточно для правильного профилирования.

На столе *4* (рис. 12.16) станка смонтирована планшайба *3*, которая служит для установки, закрепления и вращения заготовки. Планшайба стола центрируется на конусе, а опорой для нее служит горизонтальная кольцевая плоскость. Делительный червяк *1*, передающий через червячное колесо *2* вращение на планшайбу, установлен на опорах скольжения и выполнен двухшаговым (с небольшим отличием шагов по левому и правому профилям) для выборки зазора в зацеплении.

12.1.2. Зубодолбежные станки

Зубодолбление (см. рис. 12.5, *а*) по методу обката воспроизводит зацепление пары цилиндрических колес с параллельными осями, одним из которых является инструмент-долбяк. Таким способом могут быть обработаны любые детали, входящие в зацепление с сопряженным зубчатым колесом (прямозубые, косозубые и шевронные колеса, зубчатые рейки и секторы, некруглые колеса и блоки колес). Инструмент-долбяк представляет собой прямозубое или косозубое колесо, боковые поверхности которого затылованы для получения заднего угла, т.е. изготовлены в виде режущих элементов. Долбяк и заготовка при зубонарезании обкатываются по начальным окружностям без проскальзывания.

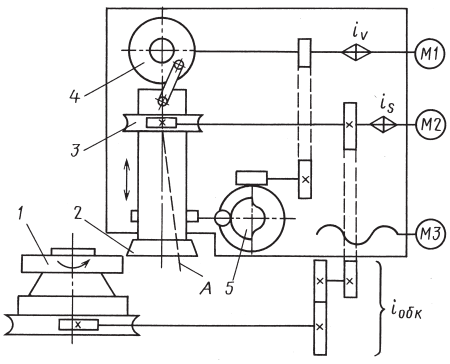


Рис. 12.17. Кинематическая структура зубодолбежного станка

Наибольшее распространение получили вертикальные зубодолбежные станки. Кинематическая структура такого станка показана на рис. 12.17.

Главное движение при зубодолблении осуществляется осевым возвратно-поступательным перемещением долбяка *2*, которое происходит от электродвигате-

ля *M1*. Скорость резания настраивается с помощью органа настройки i_v и (или) двигателя *M1* и может достигать 100 м/мин и более. Перемещение долбяка производится с помощью кривошипного (кривошипно-шатунного или кривошипно-ползунного) механизма *4*, с которым непосредственно или через промежуточные передачи связывается шпиндель. Недостатком этих механизмов является непостоянство скорости резания по длине заготовки при обработке каждого зуба. Во время обратного хода шпинделя для избежания трения задней грани инструмента о заготовку *1* и защемления долбяка его отводят от изделия на $\delta = 0{,}2\ldots0{,}8$ мм в положение *A* механизмами «отскока». В большинстве зубодолбежных станков отскок осуществляется поворотом шпинделя с долбежной головкой вокруг оси, перпендикулярной направлению главного движения. Подвод шпинделя (или стола) при резании может осуществляться кулачком *5*.

Движение обката при зубодолблении осуществляется согласованным вращением долбяка и заготовки и настраивается гитарой обката (деления) $i_{обк}$. Расчетное перемещение цепи обката имеет вид

$$1 \text{ об.заготовки} \rightarrow \frac{Z}{Z_д} \text{ об. долбяка},$$

где Z и $Z_д$ — число зубьев соответственно нарезаемого колеса и долбяка.

При обработке косозубых колес, кроме движения обката и возвратно-поступательного движения инструмента, долбяку сообщается дополнительный поворот (винтовое движение) с помощью винтовых направляющих (рис. 12.18). Неподвижный копир *1* связан с червячным колесом *3* (см. рис. 12.17), а подвижный *2* (рис. 12.18) закреплен на шпинделе и совершает возвратно-поступательное движение, скользя при этом по неподвижному копиру. Копиры — сменные. При наладке на обработку прямозубого колеса устанавливают прямолинейные копиры.

Для каждого значения хода винтовой линии зуба требуется свой копир. Так как долбяк и винтовая направляющая имеют одинаковые шаги, то с помощью одной винтовой направляющей можно обрабатывать колеса с различным углом наклона, применяя для этой цели долбяки различного диаметра. Угол наклона винтовой направляющей определяется из соотношения

$$\sin\beta = \pi m_n Z_д / P_н,$$

где $P_н$ — высота подъема (шаг) винтовой направляющей (не превышает 45° из-за возникающих усилий).

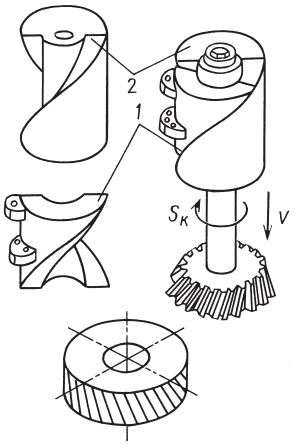


Рис. 12.18. Устройство для нарезания косых зубьев

При обработке колес с внутренним зубом нарезаемое колесо и долбяк имеют одинаковое направление винтовой линии, при обработке колес с наружным зубом — разное. Точность работы зубодолбежного станка в значительной степени зависит от точности перемещения шпинделя. Частота вращения долбяка определяет круговую подачу, которая может осуществляться от отдельного электродвигателя *M2* переменного (или постоянного) тока (см. рис. 12.17) через

цепь подач с органом настройки i_s (или без него) и исчисляется в миллиметрах перемещения $S_к$ по диаметру делительной окружности долбяка за один его двойной ход. Настройка на скорость движения подачи (взаимного обката долбяка и заготовки) должна обеспечить следующее условие согласования перемещения долбяка с его поворотом:

$$1 \text{ дв. ход долбяка} \rightarrow \frac{S_к}{\pi m_n Z_д} \text{ об. долбяка.}$$

Кроме указанных движений, в начале процесса обработки выполняют радиальное перемещение стола с заготовкой (или стойки с инструментом) для достижения требуемой глубины врезания (высоты зуба). Движение врезания может осуществляться от гидроцилиндра с бесступенчатым изменением скорости, от общего или отдельного электродвигателя *М3* с соответствующим органом настройки.

При применении долбяков класса АА, А и В достигается точность 6-, 7- и 8-й степеней соответственно.

Станок мод. 5А140 (5А140П) предназначен для нарезания цилиндрических колес с наружным и внутренним зубом по методу обката. Техническая характеристика представлена ниже.

Делительный диаметр обрабатываемого колеса, мм, не более 500
Модуль колеса, мм, не более 8
Ширина венца, мм, не более 100
Частота движения долбяка, дв. ход/мин ..... 55...560
Подача:
  круговая, мм/мин ..... 6...590
  радиальная, мм/дв. ход ..... 0,02...0,2
Диаметр шпинделя, мм 85
Мощность главного электродвигателя, кВт 4/4,5/7,5

Станок работает в наладочном и полуавтоматическом режимах с числом рабочих ходов от одного до четырех и со сменой режимов резания при переходе с черновых проходов на чистовой.

Станок (рис. 12.19) имеет вертикальную компоновку (ось заготовки вертикальна). На станине *12* установлена проставка *8* со стойкой *7*. На стойке закреплен суппорт *4*, содержащий шпиндель *II* с долбяком *6*, а также установлена коробка *2* скоростей и круговых подач. В начале цикла обработки перед каждым проходом происходит непрерывное радиальное врезание на заданную глубину, при этом стол *9* с заготовкой перемещается к долбяку по горизонтальным направляющим станины.

Главное движение резания осуществляется от трехскоростного электродвигателя *М1* через передачу 30/65, пару сменных колес *А* и *Б*, гитару скорости i_v, передачу 23/23, зубчато-ременную передачу 22/44 на приводной вал *I*, который через кривошипно-ползунный механизм *5* передает возвратно-поступательное движение шпинделю (штосселю) *II* долбяка.

Связь вращений долбяка и заготовки обеспечивается за счет цепи обката, состоящей из червячного колеса $Z = 90$ и червяка $Z' = 1$ в суппорте, колес $Z = 56$, 46,

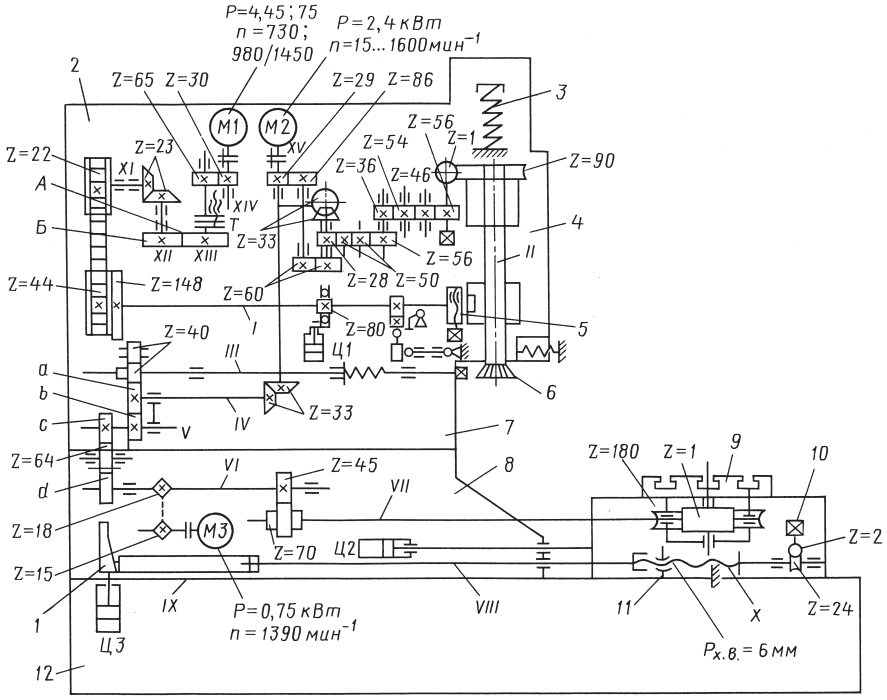


Рис. 12.19. Кинематическая схема зубодолбежного станка мод. 5А140

54, 36 и $Z = 56, 50, 50, 28$, двух конических передач 33/33, гитары обката и передач 45/70 и 1/180. Уравнение кинематического баланса цепи обката

$$\frac{1}{Z_д}\ (\text{об. долбяка}) \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{56}{46} \cdot \frac{46}{54} \cdot \frac{54}{36} \cdot \frac{56}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{28} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{45}{70} \cdot \frac{1}{180} =$$

$$= \frac{1}{Z}\ (\text{об. заготовки}).$$

Формула настройки гитары обката

$$i_{обк} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{Z_д}{Z}.$$

Скорость движения обката задают через круговую подачу долбяка, которая осуществляется от электродвигателя *М2* постоянного тока через передачи 29/86, 60/60, колеса $Z = 28, 50, 50, 56$ и $Z = 36, 54, 46, 56$ и червячную передачу 1/90 на шпиндель долбяка. Круговая подача в цикле может изменяться за счет регулирования частоты вращения электродвигателя.

Приводом *радиального перемещения стола* с заготовкой для обработки зуба на полную высоту служит гидроцилиндр *Ц3*. При врезании стол прижимается к клиновой поверхности ползушки *1* гидроцилиндром *Ц2* через корпус, винт *X*, упорную гайку *11*, штангу *VIII*, пиноль *IX* и ролик. Межосевое расстояние между долбяком и заготовкой выдерживается за счет упора гайки *11* через пиноль

в клиновую ползушку. Регулирование межосевого расстояния осуществляют рукояткой *10*, вращающей винт *X* через червячную передачу 2/24.

Ускоренное вращение заготовки при выверке ее биения осуществляется от электродвигателя *М3* через цепную передачу 15/18, цилиндрическую 45/70 и червячную 1/180. При работе цепи ускоренного вращения шпинделя изделия остальная часть кинематики отключается размыканием колес гитары обката.

Вывод долбяка в крайнее верхнее положение после обработки внутреннего зубчатого венца осуществляется гидроцилиндром *Ц1* через реечную передачу с колесом 80. Для выборки зазоров в звеньях механизмов привода главного движения, а также во избежание вибрации в процессе резания в верхней части суппорта установлена пружина *3*. На валу *XIII* располагается тормозная муфта *Т*.

Станок мод. 5А140ПФ2 (рис. 12.20), выполненный на базе станка мод. 5А140, оснащен системой ЧПУ, которая позволяет выбрать оптимальные режимы резания за счет бесступенчатого регулирования числа двойных ходов шпинделя долбяка, круговой подачи и радиального врезания стола. На пульте управления устройства цифровой индикации (УЦИ) при наладке станка кроме перечисленных режимов резания набирают параметры колеса и его тип (с внутренним или наружным зубом).

В отличие от станка мод. 5А140 главное движение резания осуществляется от электродвигателя постоянного тока *М1*, обеспечивающего возможность изменения его скорости в цикле. Межосевое расстояние между долбяком и заготовкой устанавливается с помощью электродвигателя постоянного тока *М3*, червячной передачи 4/25 и передачи винт—гайка качения, в которой гайка жестко связана с червячным колесом $Z = 25$, а ходовой винт — с корпусом стола. Точность пере-

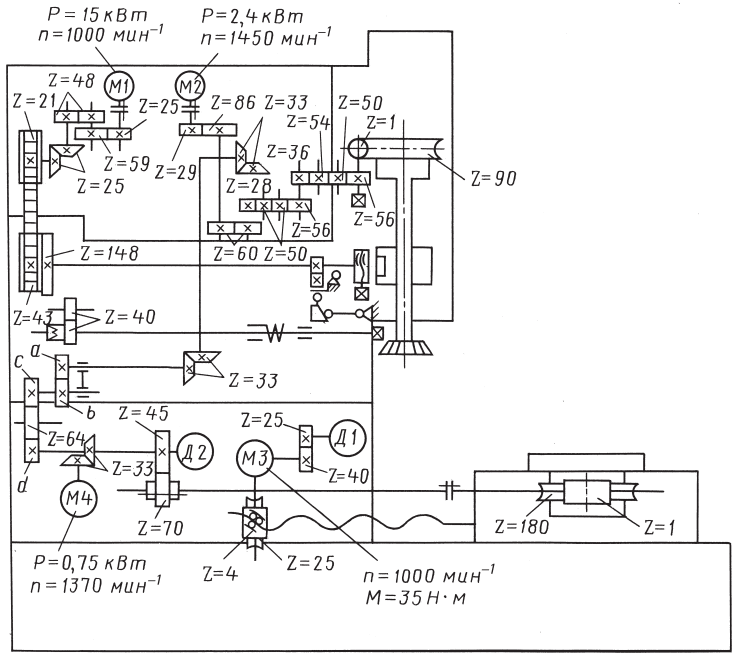


Рис. 12.20. Кинематическая схема зубодолбежного станка мод. 5А140ПФ2

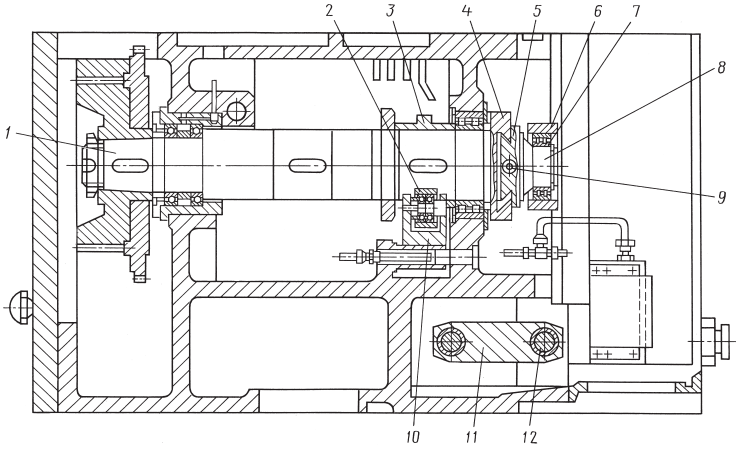


Рис. 12.21. Стойка станка мод. 5А140ПФ2

мещения стола с заготовкой определяется датчиком *Д1*. На станке установлен датчик *Д2*, позволяющий производить точный отсчет одного оборота заготовки. Остальные цепи кинематической структуры станка мод. 5А140ПФ2 аналогичны базовому. В стойке (рис. 12.21) станка размещаются передачи привода главного движения с кривошипно-ползунным механизмом, механизм отвода суппорта с долбяком и гитара деления.

В кривошипно-ползунном механизме палец *8* соединен с фланцем *4* приводного вала *1* направляющими *5* в форме «ласточкина хвоста». На пальце установлен подшипник *7*, а на последнем — камень *6* ползуна. Радиус вращения оси камня, а значит и ход долбяка, может изменяться за счет смещения пальца винтом *9*. При вращении вала *1* камень передвигается по горизонтальному пазу каретки *4* (рис. 12.22) и через ползушку *3* обеспечивает возвратно-поступательное движение шпинделю *1* долбяка *6* по вертикальным направляющим стойки.

Механизм отвода долбяка (см. рис. 12.21) получает движение от кулачка *3*, который жестко связан с валом *1*. Через ролик *2*, закрепленный на кронштейне *10*, качательное движение через систему рычагов и шарниров (см. рис. 12.20) передается на серьгу *11* (см. рис. 12.21), которая через ось *12* (см. рис. 12.21) штангой *2* (см. рис. 12.22) связана с корпусом *5* суппорта.

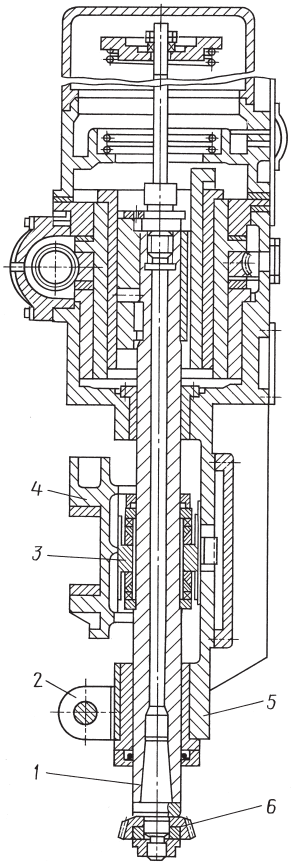


Рис. 12.22. Суппорт станка мод. 5А140ПФ2

12.1.3. Станки для чистовой обработки зубчатых колес

К финишным операциям, устраняющим погрешности, которые возникают при зубонарезании и последующей термообработке зубчатых колес, относят зубошевингование, зубошлифование, обработку закаленных колес твердосплавным обкаточным инструментом и притирку.

Зубошевингование зубьев. Важнейшей задачей зубошевингования является устранение отклонений от точного профиля (полученного, например, зубофрезерованием), связанное с ограниченным числом огибающих резов. Кроме этого, удается произвести определенную коррекцию профиля зуба колеса, а также снизить погрешность шага, волнистость, уменьшить колебание межосевого расстояния, улучшить пятно контакта, снизить параметр шероховатости и шум. Шевингованием можно достичь 6…7-й степени точности (в отдельных случаях 5-й степени) и шероховатости поверхности *Ra* 0,16…0,32.

На зубошевинговальных станках проводится обработка незакаленных цилиндрических зубчатых колес *2* с внешними и внутренними зубьями. Метод относится к непрерывным способам финишной обработки резанием, где в качестве инструмента наиболее часто применяют дисковый шевер *1* (рис. 12.23) типа закаленного зубчатого колеса, боковые поверхности зубьев которого разделены пазами, образующими режущие кромки по высоте зуба.

Так как шевер и заготовка *2* имеют различные углы наклона $\beta_ш$ и $\beta_и$ (рис. 12.24), то они образуют передачу со скрещивающимися осями. Движение зацепления в направлении высоты зуба (*d* на рис. 12.23) накладывается вследствие пересечения осей на движение скольжения *c* в осевом направлении, что приводит к результирующему движению *e*, принимаемому за скорость резания при шевинговании и обеспечивающему съем стружки. Проскальзывание является результатом зацепления шевера *1* и заготовки *2* (см. рис. 12.24). Угол поворота шевера $\varphi = \beta_и \pm \beta_ш$ (знак «+» соответствует одноименным направлениям β у шевера и заготовки (рис. 12.24, *а*), знак «–» — разноименным (рис. 12.24, *б*). Для шевингования прямозубых колес часто используют косозубый шевер и, наоборот, для косозубых колес — прямозубый. При таком зацеплении оси заготовки и

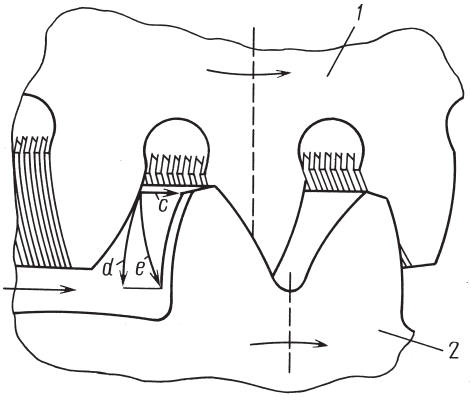


Рис. 12.23. Схема шевингования зубчатого колеса

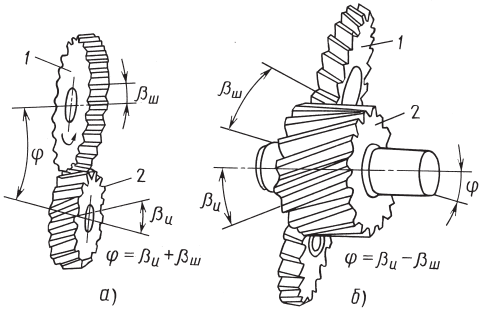


Рис. 12.24. Установка шпинделя шевера относительно обрабатываемых цилиндрических колес:
а — при одноименном направлении угла наклона зубьев шевера и колеса; *б* — при разноименном направлении угла наклона зубьев шевера и колеса

шевера скрещиваются под углом, который влияет на скорость проскальзывания и составляет 10…15°. Результирующее движение скольжения дает в итоге следы резания, оставляемые каждой режущей кромкой зуба шевера (толщина среза составляет 5…15 мкм).

Усилие прижима между боковыми поверхностями зубьев заготовки и шевера, необходимое для срезания стружки, создается или их радиальным сближением (шевингование враспор), или за счет крутящего тормозного момента, прикладываемого к шеверу или заготовке. Кинематической связи между шевером и заготовкой нет; при обработке небольших деталей во вращение приводится шевер, а при обработке крупных — заготовка.

Поскольку в винтовых зубчатых передачах (какой является зацепление шевера с колесом) теоретически происходит точечный контакт (переходящий в результате действия усилия прижима в зону касания), для обработки заготовки по всей ширине необходима подача. В зависимости от схемы шевингования производится подача шевера (или заготовки) вдоль оси или под углом к оси заготовки либо в плоскости, параллельной оси шевера в направлении, перпендикулярном оси заготовки или шевера. После каждого продольного или двойного хода стола производится периодическое включение радиального движения подачи шевера и заготовки до получения нужной высоты зуба. Затем выполняются рабочие ходы без радиального движения подачи (выхаживание).

Зубошевинговальный станок мод. 5Б702В предназначен для чистовой обработки шевером незакаленных цилиндрических колес наружного зацепления с прямым и винтовым зубьями в условиях серийного и массового производства. Класс точности станка — В. Технические характеристики приведены ниже.

Диаметр обрабатываемых колес, мм, не более	320
Модуль обрабатываемых колес, мм, не более	6
Частота вращения шевера, мин$^{-1}$	63…500
Подача стола:	
продольная (регулирование бесступенчатое), мм/мин	18…300
радиальная, мм/ход	0,02…0,04
Диаметр устанавливаемого инструмента, мм, не более	250
Габариты станка, мм	1950×1600×2130
Мощность главного электродвигателя, кВт	3,2

Станок (рис. 12.25) имеет горизонтальную компоновку: оправка с заготовкой закрепляется в съемных центрах *2* и *8* с помощью левой *3* и правой *7* бабок, установленных на столе *1*. Салазки стола через поворотную плиту базируются на корпусе *9* механизма подач, который перемещается по вертикальным направляющим станины. Поворотные направляющие салазок позволяют производить шевингование с продольной, диагональной и поперечной подачами. Механизм подач состоит из привода салазок стола и механизма радиального врезания. На верхней плоскости станины *6* установлен корпус *5* привода шеверной головки, к которому снизу крепится шеверная головка *4* со шпинделем шевера.

Кинематическая схема станка приведена на рис. 12.26. *Главное движение* (вращение шевера) производится от электродвигателя *М1*, установленного в корпусе привода шеверной головки, через червячную передачу 3/28, сменные

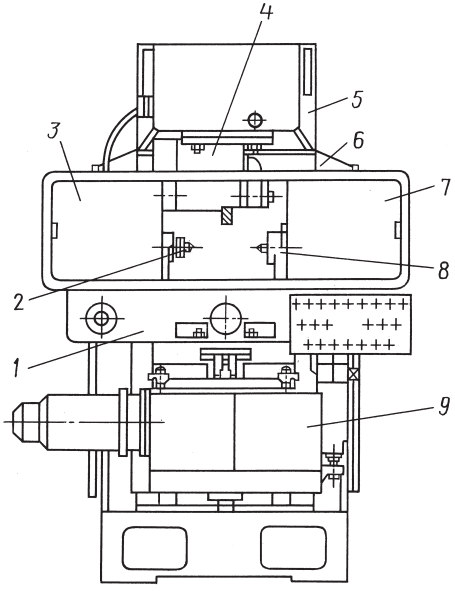


Рис. 12.25. Общий вид зубошевинговального станка мод. 5Б702В

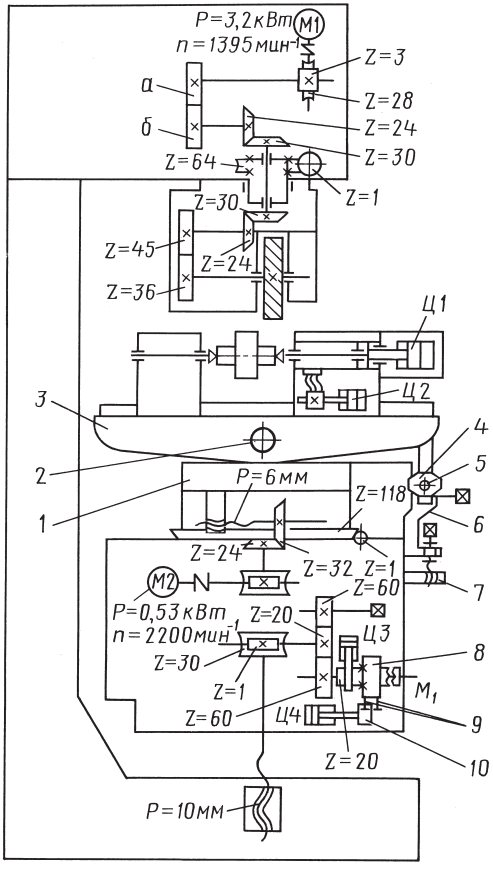


Рис. 12.26. Кинематическая схема станка мод. 5Б702В

колеса *a* и *b*, конические 24/30 и 30/24 и цилиндрическую 45/36 передачи на шпиндель шевера.

Число оборотов шевера в минуту определяется по формуле

$$n_э\,(\text{об. электродвигателя } M1)\cdot\frac{3}{28}\cdot\frac{a}{b}\cdot\frac{24}{30}\cdot\frac{30}{24}\cdot\frac{45}{36}=n_ш.$$

Продольная подача салазок стола с изделием (осевое перемещение заготовки) осуществляется от регулируемого электродвигателя *M2* постоянного тока через червячную 1/26 и коническую 24/32 передачи и ходовой винт с шагом $P = 6$ мм.

Цепь радиальной подачи осуществляется от гидроцилиндра *Ц3* через реечную передачу, которая передает вращение на вал с барабаном управления *8*. Угол поворота вала ограничивается винтами-упорами *9*, расположенными в шахматном порядке и опирающимися на собачку *10*, которая перебрасывается гидроцилиндром *Ц4*. Далее при включенной муфте M_1 движение через цилиндрическую 60/20 и червячную 1/30 пары передается на ходовой винт с шагом $P = 10$ мм.

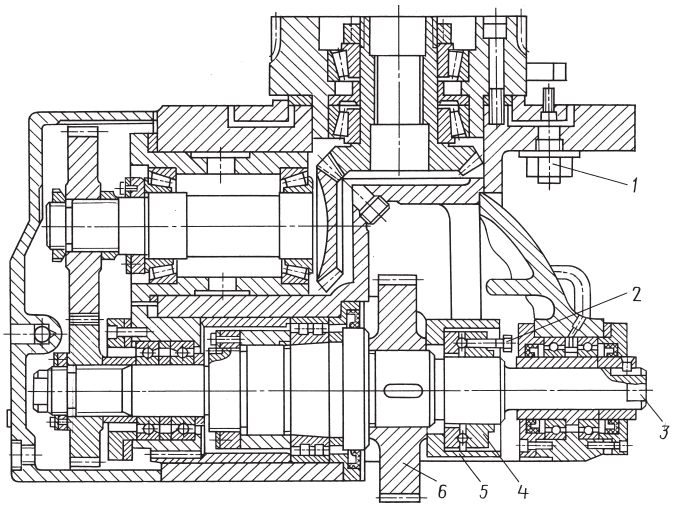


Рис. 12.27. Зубошевинговальная головка станка мод. 5Б702В

Шевингование зубчатых колес с бочкообразной формой зуба осуществляется за счет поворота копира *4* на определенный угол с помощью червячной передачи 1/18. При поступательном движении салазок *1* палец *5*, скользящий по пазу копира, через кронштейн, привернутый к столу *3*, сообщает ему качание в вертикальной плоскости вокруг центральной оси *2*. При этом заготовка, установленная в центрах бабок на столе, также качается, а ее ось наклоняется по отношению к оси шевера. В результате у торцов шевер снимает больший слой металла, чем в средней части зуба, что обеспечивает бочкообразную форму зуба шевингуемого колеса. Настройка на получение конусного зуба осуществляется за счет перемещения корпуса *6* механизма бочкообразования с помощью винтовой пары *7*.

На рис. 12.27 показана зубошевинговальная головка станка, которая крепится к корпусу привода четырьмя болтами *1* с гайками. Выставка шевера *6* на шпинделе *3* производится с помощью винтов *2,* которые передают усилие через шарики и позволяют обеспечить высокую точность торцового биения. Предварительно шевер зажимается вращением корпуса *5* гайки *4* от руки.

12.1.4. Особенности зубообрабатывающих станков с ЧПУ

Системы числового программного управления (ЧПУ) зубообрабатывающими станками стали развиваться позже, чем системы ЧПУ другими станками. Это обусловлено сложностью согласования движений механизмов станка при электронных связях между ними, необходимостью управления пятью и более координатами. Только создание микропроцессорных систем ЧПУ позволило снять ограничение по числу управляемых координат, повысить точность станков. В них, как правило, предусматривается осевая передвижка фрезы, установка с пульта управления или от управляющей программы длины перемещения фрезерных салазок, межосевого расстояния между фрезой и заготовкой, угла наклона суппорта, числа нарезаемых зубьев и режимов резания. Предусматривается также

возможность обработки зубьев с различной модификацией (например, бочкообразной, конусообразной и т.п.), а на некоторых станках автоматическая смена заготовки и инструмента.

Системы ЧПУ, электронная синхронизация движений и коррекций применяются практически на всех типах зубообрабатывающих станков. Упрощенная структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ без механических связей между координатами приведена на рис. 12.28. Согласование вращений фрезы и стола обеспечивается системой ЧПУ. Применяют два вида структур управления станками: управление с ведущей координатой (вращение фрезы) или без нее. В первом случае датчик *1* фрезы является задающим, а скорости всех остальных координат устанавливаются с учетом сигнала датчика фрезы. Такая схема облегчает задачу обеспечения точности слежения, так как скорость фрезы может изменяться. Во второй структуре связанные координаты одинаково управляются от устройства ЧПУ (УЧПУ) по заданной программе, и нужно обеспечить высокую стабильность частот их вращения. Для согласования вращения фрезы и стола во втором случае информация об их фактическом положении, получаемая от датчиков *1* и *10*, должна постоянно сравниваться. Для этого служит фазовый дискриминатор *8*. Частоты импульсов от датчика фрезы *1* и от датчика стола *10*, подаваемых на фазовый дискриминатор, равны между собой независимо от изменения числа нарезаемых зубьев. Это обеспечивается в результате преобразования входного сигнала датчика фрезы микропроцессором *9*, настроенным на расчетное соотношение скоростей фрезы и стола (в соответствии с исходными данными). В фазовом дискриминаторе происходит сравнение сигналов по фазе, и импульсно-аналоговый преобразователь *7* вырабатывает корректирующий сигнал $u_к$, пропорциональный рассогласованию.

Этот сигнал складывается в суммирующем усилителе *6* с путевым сигналом u_s привода стола, поступающим от блока управления приводами *5*. Преобразователи *2, 3*, и *4* осуществляют управление приводами координат станка соответственно *B*, *Z* и *C* (см. ниже рис. 12.31); приводы координат *X* и *Y* на структурной схеме не показаны.

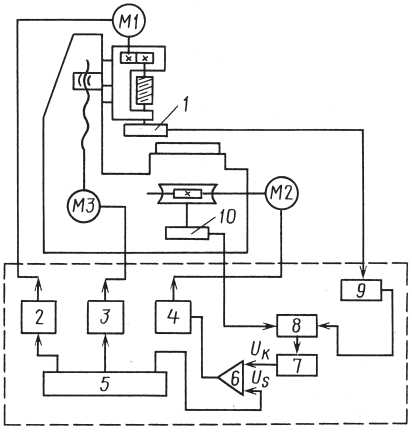


Рис. 12.28. Структурная схема зубофрезерного станка с ЧПУ (без ведущей координаты)

Частота корректирующего сигнала $f_к$, рассчитываемая микропроцессором и подаваемая на фазовый дискриминатор, определяется в соответствии с основными расчетными перемещениями на станке: $f_к = f_ф/M$, где $f_ф$ — частота измерительного преобразователя, установленного на фрезе; M — коэффициент, зависящий от вида обрабатываемого колеса.

Для прямозубого и червячного (радиальное врезание) колес, колес с конусным и бочкообразным зубом

$$M = Z/Z';$$

для косозубого колеса

$$M = Z(P \pm S_{\text{п}})/(Z'P),$$

где P — шаг винтовой линии зуба нарезаемого колеса; для червячного (тангенциальное врезание) колеса;

$$M = \frac{\pi m_X Z \pm S_0}{\pi m_X Z'};$$

$S_{\text{п}}$ — продольное перемещение фрезы (вдоль оси заготовки); S_0 — тангенциальное перемещение фрезы (вдоль оси фрезы).

Таким образом, для зубофрезерных станков с ЧПУ, работающих по методу обката червячной фрезой, можно выделить пять основных циклов:

1) обработка одновенцовых (прямозубых и косозубых) колес (см. рис. 12.7, *а*—*г*);

2) обработка прямозубого блока зубчатых колес (см. рис. 12.7, *и*);

3) обобщенный цикл обработки червячного колеса (см. рис. 12.7, *д* —*е*);

4) обработка одновенцовых колес с бочкообразным зубом (см. рис. 12.7, *л м*);

5) обработка одновенцовых колес с конусным зубом (см. рис. 12.7, *к*).

На базе пяти обобщенных циклов обработки осуществляется формирование модификаций циклов обработки с заданием величин и знаков перемещений.

При зубофрезеровании система ЧПУ должна обеспечить строго согласованное движение по всем координатам в сочетаниях, определяемых типом зубчатого колеса. Взаимосвязанное вращение приводов по координатам B, C и Z используют для обработки цилиндрических колес; по координатам B, C и Y — червячных колес (тангенциальное врезание); по координатам B, C, X и Z — колес с конусным и бочкообразным зубом.

В задачу системы ЧПУ входит расчет скоростей перемещений на основании заданных в программе обработки параметров зубчатого колеса, а также на основании информации о принятом цикле обработки. Например, при разомкнутой кинематической связи между координатами должны быть установлены следующие частоты для обработки косозубых и прямозубых колес:

$$f_C = \frac{P_C K_C i_B}{P_B K_B i_C}\left(\frac{\pi m_x Z'}{\pi m_X Z \pm S_{\text{п}} \sin\beta}\right) f_B;$$

$$f_Z = \frac{S_{\text{п}} i_B Z'}{P_B K_B \Delta_Z Z} f_B;\ \ f_B = \frac{P_B K_B n_{\text{ф}}}{60 i_B},$$

где f_C, f_Z и f_B — частоты управления приводами соответствующих координат, Гц; P_B и P_C — число пар полюсов резольвера, установленного на двигателе перемещений по координатам B и C соответственно; K_B и K_C — число импульсов на один оборот для фотоимпульсного измерительного преобразователя или коэффициент деления фазы для вращающегося трансформатора или резольвера, установленного на двигателе соответствующей координаты; i_B и i_C — передаточные отношения механизма привода фрезы и стола станка соответственно; Δ_Z — дискретность перемещения по координате Z, мм; $n_{\text{ф}}$ — частота вращения фрезы, мин$^{-1}$.

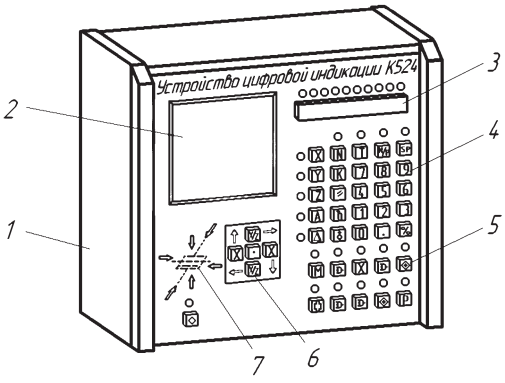


Рис. 12.29. Общий вид устройства цифровой индикации (УЦИ К524)

Расчеты по приведенным формулам должны быть выполнены с точностью до шестого знака после запятой для исключения накапливания погрешности в процессе обработки.

Зубофрезерный полуавтомат мод. 53А50КФ4 предназначен для нарезания цилиндрических и червячных колес, а также зубчатых колес с бочкообразным и конусным зубьями в условиях единичного и мелкосерийного производства. Фрезерование зуба производится методом обката или методом единичного деления. Данный полуавтомат выпускают на базе полуавтомата мод. 53А50. Класс точности станка — П. Станок управляется системой ЧПУ, выполненной на базе трехкоординатного устройства цифровой индикации УЦИ К524 и электронного блока синхронной связи (БСС). Конструктивно УЦИ К524 (рис. 12.29) выполнено в пылевлагозащищенном корпусе *1*. На лицевой стороне панели расположены: основной индикатор *2* для трех координатных осей *X*, *Y* и *Z*, вспомогательный индикатор *3* для визуального контроля за содержанием кадра программы, вводимой вручную, а также клавиши *4* для ввода числовых значений программы, клавиши *5* для выбора режима работы и клавиши *6* для перемещения узлов по координатам в ручном режиме работы. Рядом находится мнемоническая схема *7* рекомендуемых направлений движений в ручном режиме управления.

Работа УЦИ происходит в соответствии с функциональной электрической схемой, приведенной на рис. 12.30. Основные узлы УЦИ объединены общими магистральными связями, в число которых входят: магистраль адреса (*МА*) — 16 шин, магистраль данных (*МД*) — 8 шин, а также ряд шин, обеспечивающих синхронизацию различных узлов. В состав УЦИ К524 входит центральный процессор (*ЦП*), который в соответствии с программой, хранящейся в постоянном запоминающем устройстве (*ПЗУ*), выполняет последовательность операций, определяющих работу УЦИ: опрос текущего состояния счетчиков (*С*), вычисление фактического положения подвижных узлов станка по каждой из осей координат, вывод отсчета на индикаторе табло и т.д. Информация о параметрах обрабатываемого колеса, инструменте, режимах резания, а также промежуточные результаты вычислений хранятся в оперативном запоминающем устройстве (*ОЗУ*), а служебная информация (координаты точек позиционирования, значения параметров коррекции на размер инструмента и т.п.) — в энергонезависимом запоминающем устройстве (*ЭППЗУ*).

Клавиатура и элементы индикации, расположенные на передней панели (*ПИК*), связаны магистральными шинами с помощью контроллера индикации и клавиатуры (*КИК*), обеспечивающего также запрос прерывания процессора для обслуживания нажатой клавиши. Связь УЦИ со станком в режиме управления осуществляется с помощью узла формирователей команд (*ФК*), представляю-

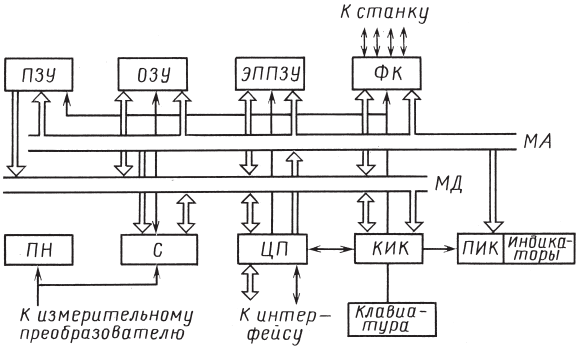


Рис. 12.30. Структурная схема УЦИ К524

щего собой устройство ввода-вывода информации с оптронными развязками на выходе.

Обработка сигналов, поступающих с измерительных преобразователей (*ИП*), проводится в преобразователе нормирующем (*ПН*), обеспечивающем оптронную развязку входных сигналов, умножение их на четыре, анализ направления перемещения. С выходов *ПН* счетные импульсы поступают на счетчики, где также находятся схемы оптронной развязки и обработки сигналов опорной точки, поступающих с *ИП*, и схема формирования запросов прерывания процесса по сигналам опорной точки.

Для обработки всей номенклатуры заготовок станок (рис. 12.31) должен иметь следующие движения, управляемые от УЧПУ: главное движение — вращение инструмента *5* (координата *B*); подачи: радиальную стола *4* (координата *X*), тангенциальную суппорта *2* (координата *Y*), вертикальную каретки *1* (координата *Z*); вращение стола *3* с заготовкой (координата *C*).

При работе станка в режиме обката оси *B*, *Y* и *Z* являются задающими, а ось *C* — следящей. Импульсы датчика оси *B* поступают в импульсный умножитель *3* (рис. 12.32), где умножаются на число заходов фрезы. Импульсы датчиков осей *Z* и *Y* проходят через электронные дифференциалы *1* и *2*, в которых формируется определенное число импульсов на единицу перемещения суппорта и фрезы в соответствии с углом наклона зубьев, модулем и углом подъема винтовой линии фрезы. Умноженные и сформированные импульсы проходят через сумматор *4*, где происходит их алгебраическое суммирование, и поступают в делитель частоты *5*, выполняющий роль электронной гитары деления. Выход электронной гитары *5* соединен с вычитающим входом реверсивного счетчика *6*, суммирующий вход которого подключен к датчику обратной связи по положению оси *C*. Разность чисел импульсов на суммирующем и вычитающем входах формирует выходной код

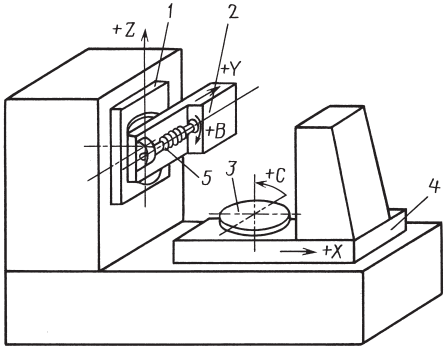


Рис. 12.31. Компоновка станка мод. 53А50КФ4

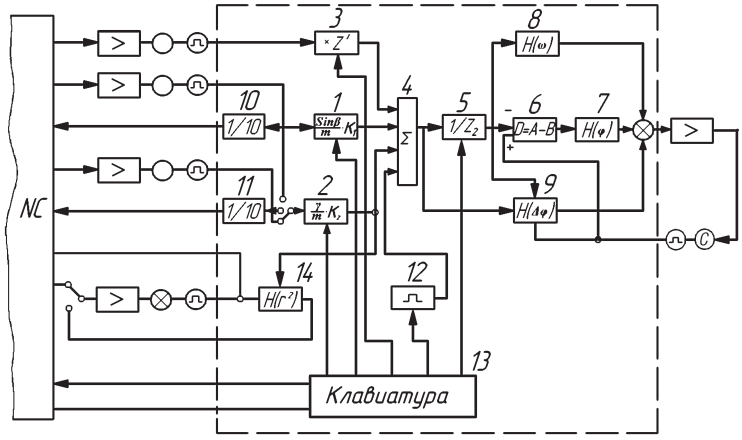


Рис. 12.32. Структурная схема блока синхронной связи

реверсивного счетчика, который подается в цифроаналоговый преобразователь *7*, где преобразуется в напряжение, пропорциональное углу рассогласования следящей системы. Это напряжение является задающим для привода оси *C*. Для повышения точности слежения в схему включены преобразователь *8* частота—напряжение и корректор *9* рассогласования, представляющий собой фазовый детектор, в котором сравниваются фазы импульсов электронной гитары и датчика обратной связи оси *C*. При этом на выходе формируется напряжение, величина и полярность которого соответствуют величине и направлению сдвига фаз. Включение одного или другого электронного дифференциала или их совместное включение определяется видом обрабатываемого колеса, его конфигурацией и методом обработки. При единичном делении датчик оси *B* блокируется, а в сумматор подается серия импульсов от отдельного генератора *12*.

Принцип нарезания зубчатых *колес с бочкообразной и конусной формой зуба* заключается во взаимосвязанном перемещении инструмента по оси *Z* и заготовки по оси *X*, причем привод оси *Z* является ведущим, а привод оси *X* — следящим. Траектория перемещения заготовки относительно инструмента при нарезании конусных колес имеет линейную форму, а при нарезании бочкообразных — параболическую. Сигнал управления, определяющий форму траектории, формируется в устройстве *14* бочкообразования, а радиус бочкообразного колеса или угол конусного колеса задается дифференциалом *2*, к которому в этом случае подключается датчик оси *Z*.

В процессе обработки колес с конусным зубом одновременно с перемещением каретки по координате *Z* с подачей $S_п$ стол станка перемещается (по координате *X*) с подачей $S_р$, которая зависит от $S_п$. Обе подачи задаются в миллиметрах на один оборот стола. Обозначив конусность зуба через $k = S_р/S_п$, где $S_р$ — радиальное преремещение фрезы получим зависимость частоты управления приводом координаты *X* от частоты управления приводом координаты *Z*:

$$f_X = k\frac{\Delta_Z}{\Delta_X} f_Z,$$

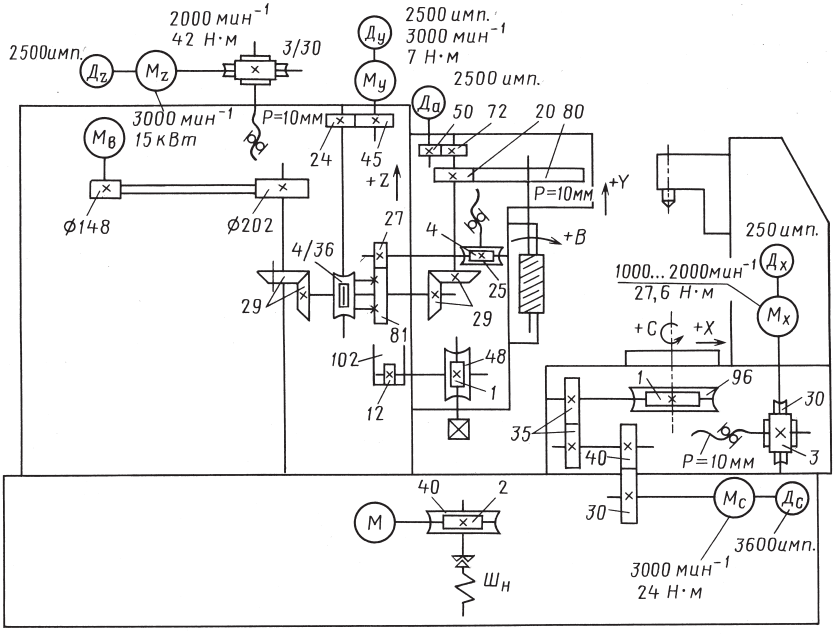


Рис. 12.33. Кинематическая схема станка мод. 53А50КФ4

где Δ_X и Δ_Z — дискретности перемещения соответственно по координатам X и Z, мм.

Дискретностью перемещения по координате называют величину перемещения конкретного исполнительного органа, отнесенную к одному импульсу, отсчитываемому датчиком обратной связи. В общем случае дискретность определяется по формуле

$$\Delta = \frac{iP_{\text{х.в}}}{K_{\text{имп}} \cdot 4},$$

где i — передаточное отношение цепи от датчика до исполнительного органа; $K_{\text{имп}}$ — число импульсов за один оборот датчика; «4» — электрическое умножение числа импульсов в устройстве ЧПУ; $P_{\text{х.в}}$ — шаг ходового винта.

Кинематическая схема станка мод. 53А50КФ4 (рис. 12.33) выполнена с разомкнутой связью в цепи деления и безгитарной наладкой связей вращения заготовки и инструмента, перемещений инструмента и заготовки. Фрезерование зуба, выполняемое методом обката, производится с помощью электронной «гитары деления», а нарезание косозубых и червячных колес — с помощью электронных дифференциалов.

Привод вращения фрезы, приводы подач по осям *X, Y, Z* осуществляются от электродвигателей постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения, позволяющих обеспечить широкий диапазон скоростей и подач, а также автоматическое управление на первом и втором проходах. Привод вращения стола также осуществляется от электродвигателя постоянного тока с высокой точностью отсчета углового поворота.

Главное движение — вращение шпинделя — производится электродвигателем $M_В$ через клиноременную передачу ∅148/∅202, две конические 29/29 и цилиндрическую 20/80 передачи.

Частота вращения инструмента определяется из уравнения

$$n_{M_В}\frac{148}{202}\cdot\frac{29}{29}\cdot\frac{29}{29}\cdot\frac{20}{80}=n_ф \text{ или } n_ф=0{,}183\,n_{M_В}.$$

Формула частоты управления f_B приводом фрезы находится из уравнения

$$\frac{n_ф}{60}\cdot\frac{80}{20}\cdot\frac{72}{50}K_{имп}=f_B,\ \text{откуда}\ f_B=240n_ф,$$

где $K_{имп}$ = 2500 — число импульсов за один оборот датчика $Д_B$ (типа ВЕ178А5).

Полученную формулу для f_B заводят в ПЗУ УЧПУ, а на его пульте набирают требуемое значение $n_ф$, которое рассчитывается по выбранной нормативной скорости резания v по формуле

$$n_ф=\frac{1000v}{\pi D_ф},$$

где $D_ф$ — наружный диаметр фрезы.

Цепь *радиальной подачи* стола (координата X) связывает электродвигатель M_X с ходовым винтом радиальной подачи с шагом $P=10$ мм через червячную передачу 3/30.

Из уравнения этой цепи находим радиальную подачу, мм/мин:

$$n_{M_X}\frac{3}{30}\cdot 10\ (мм)=S_р \text{ или } S_р=n_{M_X}.$$

Частота управления приводом радиальной подачи f_X определяется из уравнения кинематического баланса между частотой вращения двигателя M_X (ротором датчика $Д_X$) и радиальной подачей $S_р$ от ходового винта

$$\frac{f_X\cdot 60}{250\cdot 4}\cdot\frac{3}{30}\cdot 10\ (мм)=S_р,\ \text{откуда}\quad f_X=\frac{50}{3}\cdot S_р\ (Гц).$$

Дискретность перемещения по координате X

$$\Delta_X=\frac{1}{250\cdot 4}\cdot\frac{3}{30}\cdot 10=0{,}001\ мм.$$

Цепь *тангенциальной подачи* суппорта (координата Y) связывает электродвигатель M_Y с ходовым винтом тангенциальной подачи с шагом P = 10 мм через цилиндрическую 45/24, червячную 4/36, цилиндрическую 81/27 и червячную 4/25 передачи. Из уравнения этой цепи

$$n_{M_Y}\frac{45}{24}\cdot\frac{4}{36}\cdot\frac{81}{27}\cdot\frac{4}{25}\cdot 10=S_0\ мм,$$

находим величину тангенциальной подачи в зависимости от частоты вращения электродвигателя M_Y, мм/мин:

$$S_0 = n_{M_Y}.$$

За один оборот стола фреза проходит вдоль своей оси путь, равный величине тангенциальной подачи S_0. За это же время фреза сделает Z/Z' оборотов. Тогда:

$$\frac{Z}{Z'}\ (\text{об. фрезы}) \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{72}{50} \cdot \frac{1}{f_B} \cdot f_Y \cdot \frac{45}{24} \cdot \frac{4}{36} \cdot \frac{81}{27} \cdot \frac{4}{25} \cdot 10 = S_0 \text{ мм}.$$

Отсюда частота управления приводом тангенциальной подачи f_Y, Гц,

$$f_Y = \frac{25}{144} \cdot \frac{Z'}{Z} \cdot S_0 \cdot f_B, \tag{12.3}$$

Дискретность перемещения по координате Y

$$\Delta_Y = \frac{1}{2500 \cdot 4} \cdot \frac{45}{24} \cdot \frac{4}{36} \cdot \frac{81}{27} \cdot \frac{4}{25} \cdot 10 = 0{,}0001 \text{ мм}.$$

Цепь вертикальной подачи каретки (координата Z) связывает электродвигатель M_Z с ходовым винтом вертикальной подачи с шагом $P = 10$ мм через червячную передачу 3/30. Из уравнения этой цепи

$$n_{M_Z} \cdot \frac{3}{30} \cdot 10 = S_{\text{п}}, \text{ мм}$$

находим величину вертикальной подачи, мм/мин:

$$S_{\text{п}} = n_{M_Z}.$$

Уравнение кинематического баланса связывает вращение фрезы с ее перемещением вдоль оси заготовки $S_{\text{п}}$ (мм) за один оборот стола (фреза за это время сделает Z/Z' оборотов). Тогда

$$\frac{Z}{Z'}(\text{об. фрезы}) \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{72}{50} \cdot \frac{1}{f_B} \cdot f_Z \cdot \frac{3}{30} \cdot 10 = S_{\text{п}} \text{ мм},$$

откуда, Гц,

$$f_Z = \frac{25}{144} \cdot \frac{Z'}{Z} S_{\text{п}} f_B.$$

Дискретность перемещения по координате Z

$$\Delta_Z = \frac{1}{2500 \cdot 4} \cdot \frac{3}{30} \cdot 10 = 0{,}0001 \text{ мм}.$$

При наладке станка значения подач набираются на соответствующих задатчиках пульта управления.

Цепь деления связывает электродвигатель M_C с заготовкой через цилиндрические 30/40, 35/35 и червячную 1/96 передачи. Частота вращения стола с заготовкой (координата C) определяется из уравнения

$$n_{M_C} \cdot \frac{30}{40} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = n_{\text{заг}},$$

откуда

$$n_{\text{заг}} = n_{M_C}/128.$$

При нарезании прямозубых колес частота управления приводом стола $f_{\text{с.п}}$ определяется из уравнения кинематического баланса, составленного из условия: за один оборот фрезы стол поворачивается на Z'/Z оборота. Тогда

$$1(\text{об. фрезы}) \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{72}{50} \cdot \frac{2500}{f_B} \cdot \frac{f_{\text{с.п}}}{3600} \cdot \frac{30}{40} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{Z'}{Z} \text{ (об. заготовки).}$$

Отсюда находим, Гц,

$$f_{\text{с.п}} = 32\frac{Z'}{Z} \cdot f_B.$$

Эту формулу также заводят в УЧПУ станка, а при его наладке на пульте ЧПУ набирают значения числа зубьев Z и заходности фрезы Z'. *При нарезании косозубых колес* частота управления приводом стола $f_{\text{с.к}}$ складывается из двух частот: 1) частоты $f_{\text{с.п}}$, обеспечивающей поворот стола для осуществления деления, и 2) частоты $f'_{\text{с}}$, обеспечивающей доворот стола с учетом наклона зуба колеса, т.е. $f_{\text{с.к}} = f_{\text{с.п}} \pm f'_{\text{с}}$, где $f'_{\text{с}}$ — частота управления приводом стола станка, обеспечивающая поворот стола на один дополнительный оборот при перемещении фрезы вдоль оси заготовки на шаг винтовой линии зуба [см. выражения (12.1)].

Тогда, с учетом расчетных перемещений (12.2) при бездифференциальной настройке для случая нарезания косозубых колес, из уравнения кинематического баланса

$$1 \text{ (об. заготовки)} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{40}{30} \cdot \frac{3600}{f_{\text{с.к}}} \cdot \frac{f_B}{2500} \cdot \frac{50}{72} \cdot \frac{20}{80} = \frac{Z}{Z'}\left(1 \pm \frac{S_{\text{п}}}{P}\right) \text{ (об. фрезы)}$$

после подстановки выражения (12.1) для P найдем

$$f_{\text{с.к}} = 32 \cdot \frac{\pi m_n Z'}{\pi m_n Z \pm S_{\text{п}} \sin\beta} \cdot f_B,$$

где $S_{\text{п}}$ — подача по координате Z, мм/об.

При нарезании червячных колес методом радиального врезания коэффициент пропорциональности между частотами управления приводами фрезы и стола станка определяется так же, как и при нарезании прямозубых колес.

При нарезании червячных колес методом тангенциального врезания частота управления приводом стола $f_{\text{с.ч}} = f_{\text{с.п}} \pm f''_{\text{с}}$, где $f''_{\text{с}}$ — частота управления приводом стола станка, обеспечивающая поворот стола на один дополнительный оборот при перемещении фрезы вдоль своей оси на величину длины делительной окружности червячного колеса, равную $\pi m_s Z$.

Из уравнения кинематического баланса, аналогично бездифференциальной настройке при нарезании косозубых колес, для этого случая

$$1 \text{ (об. заготовки)} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{40}{30} \cdot \frac{3600}{f_{\text{с.ч}}} \cdot \frac{f_B}{2500} \cdot \frac{50}{72} \cdot \frac{20}{80} = \frac{Z}{Z'}\left(1 \pm \frac{S_0}{\pi m_s Z}\right) \text{ (об. фрезы)}$$

найдем

$$f_{\text{с.ч}} = 32 \cdot \frac{\pi m_s Z'}{\pi m_s Z \pm S_0} f_B,$$

где S_0 — подача по координате Y, мм/об.

Частоты управления приводами фрезы, заготовки и каретки определяются формулами, полученными при обработке прямозубых колес.

Высокая точность работы электронных дифференциалов обеспечивается применением датчиков по осям Y и Z с дискретностью, приведенной к линейным перемещениям, $\Delta = 0{,}0001$ мм. Так как в устройствах ЧПУ или УЦИ, с которыми сопрягается блок синхронной связи, дискретность составляет 0,001 мм, в схему БСС введены делители *10* и *11* (см. рис. 12.32), осуществляющие деление на 10 частоты импульсов по осям Y и Z с сохранением фазового сдвига прямых и смещенных импульсов на $90 \pm 20^{\circ}$. Коэффициенты передачи электронных дифференциалов, импульсного умножителя и электронной гитары задаются двоичным кодом, формируемым клавиатурой *13*.

Основные конструктивные особенности станков с ЧПУ перечислены ниже.

1. Более широкое применение компоновки с подвижной стойкой, обеспечивающей лучшие условия для автоматизации загрузки заготовки.

2. Короткие кинематические цепи (с автономным приводом координат) с небольшим количеством передач, благодаря чему их точность сохраняется длительное время и обеспечивается высокая жесткость.

3. Применение в конструкции беззазорных элементов: привода (см. рис. 7.6), фрезы (рис. 12.34), продольной, радиальной и тангенциальной подач фрезы, что повышает динамическую жесткость.

4. Автоматизация настройки, а часто также установки, закрепления инструмента и заготовки. На рис. 12.34 в качестве примера приведена конструкция автоматизированного зажима оправки с червячной фрезой в шпинделе суппорта зубофрезерного станка с ЧПУ мод. PE 150 (Германия). При установке в шпиндель *4* оправки *11* с новым инструментом *12* захваты *10* цанги находятся в разведенном состоянии, что позволяет оправке с фрезой занять положение, показанное на рис. 12.34 (ниже оси шпинделя). Под действием пакета тарельчатых пружин *3*

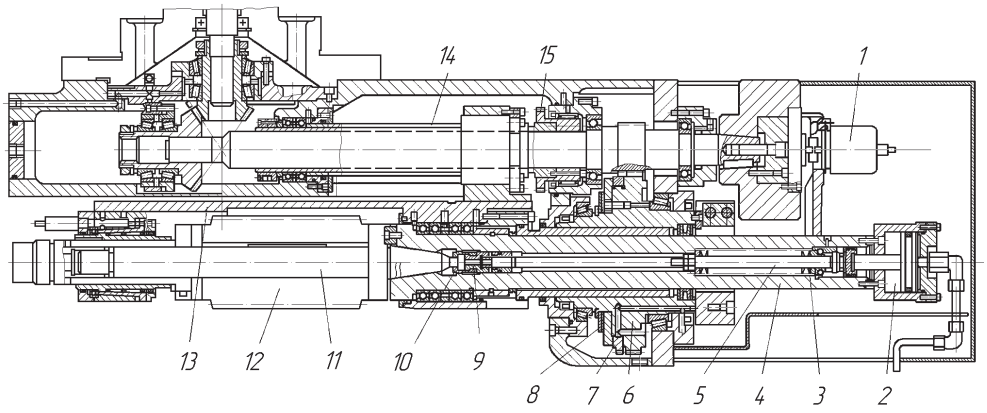


Рис. 12.34. Суппорт зубофрезерного станка с ЧПУ мод. PE 150 (Германия)

при осевом перемещении тяги *5* со втулкой *9* вправо захваты *10*, наезжая на выступы в расточке шпинделя, сближаются, осуществляя закрепление оправки (показано на рис. 12.34 выше оси шпинделя). Для освобождения оправки служит гидроцилиндр, поршень *2* которого, сжимая тарельчатые пружины *3*, возвращает захваты в разжатое состояние. Механизм зажима, расположенный между пакетом тарельчатых пружин *3* и левым торцом хвостового выступа тяги *5*, предотвращает перемещение инструмента вдоль оси из-за неконтролируемого роста усилия резания. Для согласования вращения фрезы и заготовки служит датчик *1*. Тангенциальное перемещение салазок *13* производится при вращении полого шарикового винта *14* от зубчатого колеса *15*.

12.2. Зубошлифовальные станки

Зубошлифовальные станки применяются для окончательной обработки сложных и высокоответственных зубчатых изделий (зубчатых колес, шеверов, инструментальных долбяков и т.п.) Основными их преимуществами являются возможность обработки твердых материалов, а также высокое качество поверхности и размерной точности изделий.

Основные методы зубошлифования можно подразделить на следующие.

1. *Метод копирования*. Используется в крупносерийном производстве, так как для каждого зубчатого колеса необходимо профилировать шлифованный круг, оснащать станок сложным устройством правки.

2. *Метод обката с периодическим делением* (дисковыми и тарельчатыми кругами).

3. *Метод обката с непрерывным образованием профиля абразивным червяком.* Метод используется для обработки зубчатых колес малых модулей из-за ограниченных габаритных возможностей абразивного инструмента червячного типа формировать профиль в виде исходного контура производящей рейки.

Зубошлифование профиля зуба (эвольвенты) — производится за счет взаимного обката обрабатываемой заготовки с инструментом,

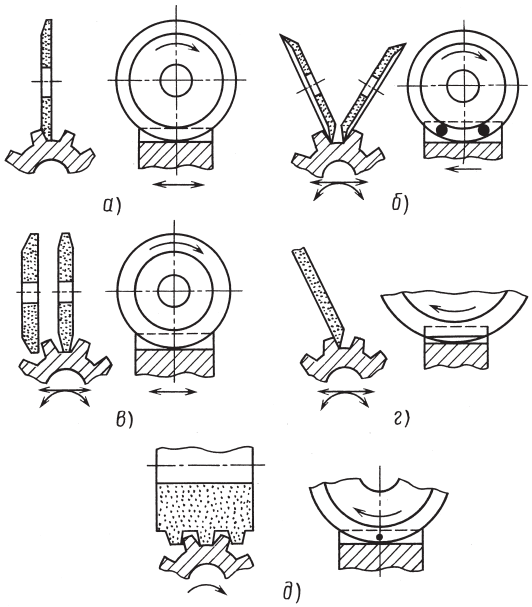


Рис. 12.35. Варианты зубошлифования и формы контакта круга с изделием: *а* — методом копирования профильным кругом (линейный контакт); *б* — методом обката двумя тарельчатыми кругами с периодическим делением (контакт каждого круга в двух точках); *в* — методом обката коническим кругом (контакт в одной точке); *г* — методом обката плоской стороной круга (линейный контакт); *д* — непрерывное зубошлифование (точечный контакт с числом точек *n*)

являющимся элементом производящей зубчатой рейки. Прямые боковые поверхности исходного профиля последней воспроизводятся в зубошлифовальном станке поверхностями шлифовального круга. Данный процесс формообразования обусловливает кинематическую связь вращательного движения обрабатываемой заготовки с относительным перемещением суппорта изделия (движение обката). Шлифовальный круг при обработке обеспечивает движение скорости резания.

При теоретическом рассмотрении зон шлифования для схем, показанных на рис. 12.35, можно отметить, что точечная форма контакта шлифовального круга и обрабатываемой заготовки обеспечивает большую точность и меньшее тепловыделение, а линейная — большую производительность обработки при прочих равных условиях. Эти и другие причины (конструктивные схемы обката, механизмов деления и др.) обусловили появление разнообразных зубошлифовальных станков.

Компоновка зубошлифовального станка с горизонтальной осью заготовки, работающего по методу обката с периодическим делением с двумя тарельчатыми кругами, показана на рис. 12.36. На станине станка в передней ее части расположены элементы, обеспечивающие подачу, обкаточное и делительное перемещения заготовки. Для шлифования косозубых колес стойка *18* поворачивается на угол наклона зуба по пазам станины *17* и неподвижно фиксируется на ней. На стойке вертикально перемещается траверса *19* с двумя шлифовальными бабками *1* с абразивными кругами *3*. Траверса устанавливается по высоте в соответствии с диаметром шлифуемой заготовки *4*. Каждый из шлифовальных кругов *3* получает вращение от двигателя *2*. Рядом со шлифовальными кругами находятся правящее и подналадочное устройства. Заготовка *4* устанавливается на зажимной оправке *5* в центрах или в трехкулачковом патроне и поддерживается роликовым люнетом. На вылете горизонтального шпинделя заготовки расположена обкаточная головка *6*. Каждая из двух обкаточных лент *8* одним концом закрепляется на обкаточном секторе *9*, а другой конец лент фиксируется на портальной стойке *7*, расположенной на обкатной каретке *16*. Если обкаточная каретка *16* вместе с заготовкой *4* совершает возвратно-поступательное движение в поперечном направлении к оси заготовки, то обкаточный сектор *9* неизбежно будет обкатывать туго натянутую обкаточную ленту и сообщать заготовке *4* необходимое вращение

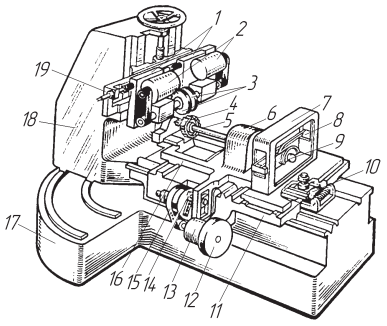


Рис. 12.36. Компоновка зубошлифовального станка с горизонтальной осью, работающего по методу обката с периодическим делением с двумя тарельчатыми кругами:
1 — шлифовальная шпиндельная бабка; *2* — электродвигатели; *3* — шлифовальные круги; *4* — заготовка; *5* — зажимная оправка; *6* — обкаточная головка с делительным механизмом; *7* — стойка с обкаточной лентой; *8* — обкаточные ленты; *9* — обкаточный сектор; *10* — кулисная направляющая; *11* — салазки подачи; *12* — маховичок; *13* — двигатель обката; *14* — цапфа для кулисного камня; *15* — эксцентриковая шайба; *16* — обкатная каретка; *17* — станина станка; *18* — стойка; *19* — траверса

относительно режущих поверхностей тарельчатых шлифовальных кругов *3*. Обкаточная каретка перемещается с помощью эксцентриков *15* от двигателя обката *13*. Длина хода регулируется смещением цапфы *14* с кулисным камнем дисковым маховичком *12*. Продольная подача заготовки осуществляется продольными салазками подачи *11* по направляющим станины.

Эти зубошлифовальные станки с нулевым и 20-градусным углами зацепления предназначены для обработки деталей диаметром до 1000 мм, массой до 4 т. На самом большом станке с 15…20-градусным углом зацепления можно обрабатывать детали диаметром до 4,75 м и массой до 50 т.

В табл. 12.1 приведены технические характеристики зубошлифовальных станков.

12.1. Технические характеристики зубошлифовальных станков

Параметр	Вид инструмента			
	Дисковый круг		Тарельчатый круг	Абразивный червяк
	Модель станка			
	5831	5841	5851	5В833
Диаметр обрабатываемой заготовки, мм	30…320	30…320	35…320	40…320
Модуль, мм	1,5…6	1,5…8	2…10	0,5…6
Ширина колес, мм, не более	100	100	220	150
Число зубьев	10…200	10…200	10…120	12…200

12.2.1. Зубошлифовальные станки, работающие абразивным червячным кругом

Зубошлифовальные станки, работающие абразивным червячным кругом, обеспечивают непрерывный процесс шлифования, не требующий отдельного движения деления. В этом случае процесс зубошлифования представляет собой имитацию червячного зацепления абразивного шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой. При этом форма эвольвенты образуется в результате обката абразивного червяка и обрабатываемой заготовки, а форма зуба по длине (прямая или винтовая линия) — за счет осевой подачи заготовки, развернутой на соответствующий угол. Этот метод, известный как метод винтового шлифования с обкаткой, идентичен зубофрезерованию по методу обката и характеризуется высокой объемной производительностью резания и высокой точностью. На рис. 12.37 показана кинематическая схема такого зубошлифовального станка.

Шлифовальный червяк *3* и шпиндель заготовки *12* вследствие сравнительно небольших сил резания приводятся в действие синхронным двигателем *8*. Обкатная кинематическая связь между вращением круга и заготовки может быть реализована механическим или электромеханическим способом через цепь обката. Гидравлический тормоз *11* привода заготовки обеспечивает компенсацию зазоров при работе приводных элементов. Во время обработки производится относительное продольное к оси заготовки перемещение каретки изделия *10*

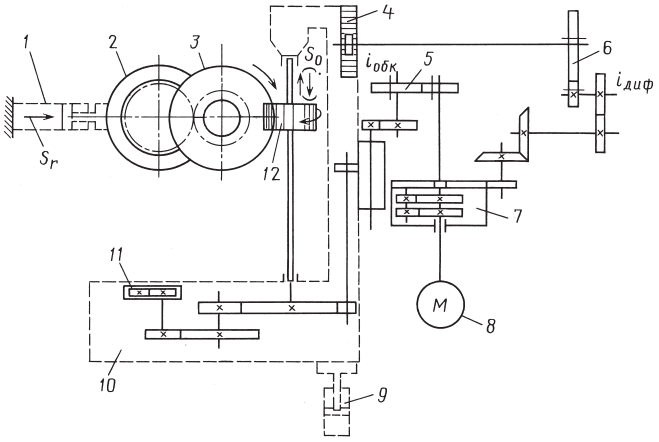


Рис. 12.37. Кинематическая схема зубошлифовального станка, работающего абразивным червячным кругом (непрерывная схема шлифования):
1 — гидравлический привод каретки шлифовального круга; *2* — синхронный двигатель для привода инструмента; *3* — абразивный червяк; *4* — зубчато-реечная передача; *5* — делительная гитара цепи обката; *6* — гитара дифференциала; *7* — дифференциал; *8* — синхронный двигатель привода детали; *9* — гидравлический привод каретки изделия; *10* — каретка изделия; *11* — гидравлический тормоз; *12* — заготовка; S_o — осевая подача; S_r — радиальная подача; v — скорость резания

для шлифования зуба по длине приводом *9*; подача на врезание производится в каждом конечном положении круга и заготовки приводом *1*. Дополнительное вращательное движение заготовки, необходимое для получения угла наклона при шлифовании винтовых зубьев, осуществляется от рейки *4* с помощью дифференциала *7*. Правка червячного абразива производится с помощью специального устройства, имеющего отдельную обкатную цепь между вращением круга и поступательным перемещением правящего инструмента.

Принцип действия зубошлифовального станка с электронным управлением, работающего абразивным червячным кругом, показан на рис. 12.38. В таком станке кинематическая приводная цепь, связывающая шпиндель круга и заготовки со сменными шестернями, заменяется электронно-регулируемым приводом. Для формообразования профиля эвольвенты методом обката шлифовальный шпиндель *8*, приводимый в действие обычным асинхронным двигателем *4*, имеет непосредственную связь с шаговым датчиком углового положения *7* очень

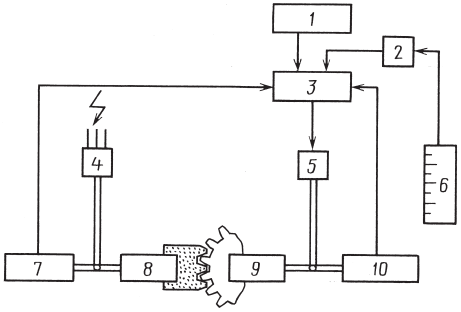


Рис. 12.38. Принцип действия зубошлифовального станка с электронным управлением цепи обката:
1 — устройство ввода данных; *2* — электронный дифференциал; *3* — автоматический регулятор; *4* — привод шлифовального круга; *5* — привод изделия; *6* — импульсная масштабная линейка; *7* и *10* — датчики угловых перемещений; *8* — шлифовальный шпиндель; *9* — шпиндель изделия

высокой разрешающей способности. Импульсы, посылаемые этим датчиком, являются входными сигналами для регулируемого привода *5* вращения заготовки, соединенного со вторым шаговым датчиком углового положения *10* (также высокой разрешающей способности) и с собственно шпинделем заготовки *9*. Настройка привода заготовки производится регулятором *3*.

Для образования формы зуба по длине при обработке зубчатых колес с винтовым зубом во время шлифования величина осевого перемещения заготовки относительно абразивного червяка измеряется с помощью масштабной линейки импульсного типа *6*. При осевом смещении заготовки *9* происходит ее дополнительный относительный поворот через электронный дифференциал *2,* регулятор *3* и двигатель *5*. При шлифовании прямозубых колес эта цепь управления отключается. Посредством ввода данных *1* в авторегулятор *3* программируют обработку определенной заготовки, задавая число зубьев и угол наклона обрабатываемого колеса.

12.2.2. Зубошлифовальные станки, работающие методом единичного деления

Эти станки подразделяют на две разновидности: с раздельным и одновременным шлифованием профилей. При *раздельном шлифовании* абразивный круг вводится во впадину зуба и обрабатывает сначала правый, а затем и левый рабочие профили зубьев этой впадины. Обработав одну боковую рабочую поверхность впадины (например, правого зуба), после реверсирования направления перемещения суппорта и компенсации зазоров, равных разности между шириной впадины зуба и толщиной круга, шлифуется другая боковая поверхность (соответственно левого зуба). Затем круг выводится из впадины, происходят деление стола на угловой шаг и переход к следующей впадине, и так далее *Z* число раз, соответственно равное числу зубьев зубчатого колеса. Преимущества метода — в большей производительности обработки, но износ шлифовального круга влияет на точность окружного шага колеса, а также сложно обеспечить компенсацию износа круга вследствие большой длины его режущей кромки.

При *одновременном шлифовании* профилей проводится обработка одной стороны рабочего профиля всех зубьев колеса, затем колесо переустанавливается с последующей обработкой противоположных сторон профилей. При этом относительное вращение круга и заготовки всегда однонаправленное, без реверсирования направления перемещения суппорта, что повышает точность обработки по окружному шагу, однако переустановка заготовки оказывает влияние на точность.

В зубошлифовальном станке, работающем по методу *обката с периодическим делением* и оснащенном двусторонним коническим шлифовальным кругом (рис. 12.39), связь между вращением заготовки и ее поступательным перемещением осуществляется с помощью замкнутой кинематической цепи через гитару обката $i_{обк}$. В нем реализован раздельный способ шлифования профилей зуба колеса. При зубошлифовании круг вводится во впадину зуба и сначала посредством обката заготовки по осциллирующему и вращающемуся шлифовальному кругу шлифуется левая боковая поверхность зуба. При реверсировании направления перемещения суппорта и компенсации зазора шлифуется правая боковая поверхность зуба. Затем шлифовальный круг выводится из впадины зуба,

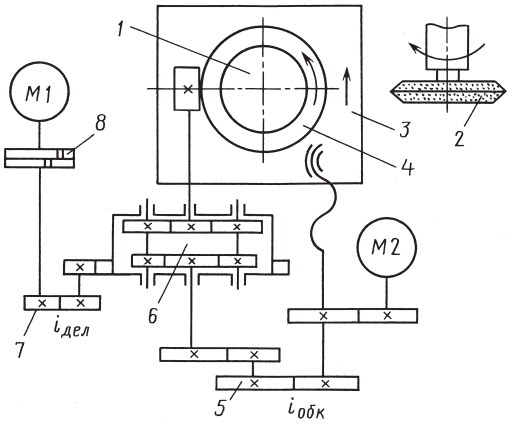


Рис. 12.39. Кинематическая схема зубошлифовального станка с коническим кругом, работающего методом обката с периодическим делением:
1 — заготовка; *2* — шлифовальный круг; *3* — суппорт изделия; *4* — червячное колесо; *5* — гитара обката; *6* — дифференциал; *7* — гитара деления; *8* — делительный диск; *M1* и *M2* — двигатели

и автоматически с помощью делительных сменных шестерен и дифференциала производится деление на шаг посредством вращения стола при неподвижном суппорте. После переключения направления подачи заготовки и новой компенсации зазора шлифовальный круг вводится в следующую впадину для шлифования следующего зуба. Во время обработки делительный привод блокируется фиксатором.

Принцип зубошлифования *двумя тарельчатыми кругами* по методу периодического деления показан на рис. 12.40. При этом круги, обрабатывающие одну правую и одну левую боковые поверхности, имеют форму вогнутого конуса, так что шлифование производится только узкой кромкой, и касание боковой поверхности зуба с кругом теоретически происходит только в одной или двух точках. Это обеспечивает низкую термическую нагрузку обрабатываемой поверхности и позволяет производить шлифование без СОЖ. Применяемые методы различаются углом наклона шлифовальных кругов по отношению к вертикалям на поверхности обкатки (угол зацепления). Соответственно движение обката заготовки происходит в одном случае по делительной окружности (угол зацепления 15…20°), а в другом случае — по основной окружности (угол зацепления равен нулю).

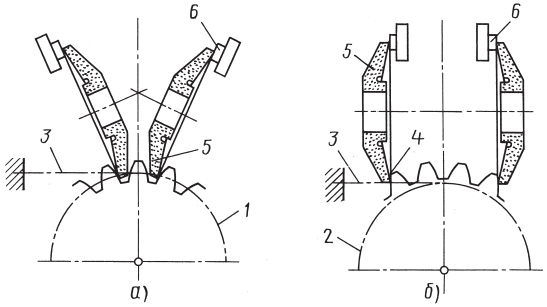


Рис. 12.40. Позиции шлифовальных кругов и производящие окружности при 15…20-градусном (*а*) или нулевом (*б*) методах зубошлифования:
1 — делительная окружность; *2* — основная окружность; *3* — обкаточная лента; *4* — контакт в одной точке; *5* — контакт в двух точках; *6* — алмаз для правки

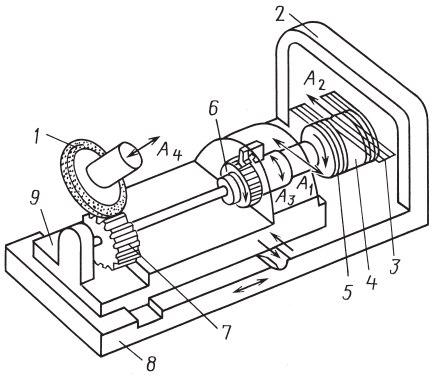


Рис. 12.41. Механизм обката зубошлифовального станка с применением ленточного обкатного сектора:
1 — шлифовальный круг; *2* — стойка для обкаточной ленты; *3*, *5* — пара обкаточных лент; *4* — обкаточный сектор; *6* — делительная головка; *7* — шлифуемое колесо; *8* — салазки подачи; *9* — салазки изделия; A_1—A_4 — корректирующие движения

Кинематическая связь между вращением заготовки и подачей суппорта реализуется в этих станках применением обкатного сектора (рис. 12.41, см. рис. 12.36). Шпиндель заготовки расположен на крестовом суппорте (обкатной суппорт и суппорт подачи), на конце шпинделя находится обкатной сектор или обкатной диск, который охватывается обкатной лентой с предварительным натяжением и принуждает шпиндель к вращению при перемещении обкатного суппорта. Достигаемая скорость обката зависит в этом станке от подвижных масс (обкатного суппорта со шпинделем и заготовки).

Наличие точечного контакта между кругом и заготовкой позволяет оснащать станки механизмом автоматической правки шлифовальных кругов (рис. 12.42). Рычаг *3*, имеющий алмазную пластину *2,* ощупывает кромку круга *1*. При недопустимом износе замыкается контакт *4*, включающий электромагнит *8*, который защелкой *6* связывает постоянно вращающееся червячное колесо *10* с храповым колесом *5*. От него вращение передается через коническую пару *7*, коленчатый вал *9*, храповик с несоосным перемещением *11* и передачу *12* на гайку *13*, благодаря вращению которой происходит перемещение шлифовального круга по стрелке *Б* для правки алмазом *2*.

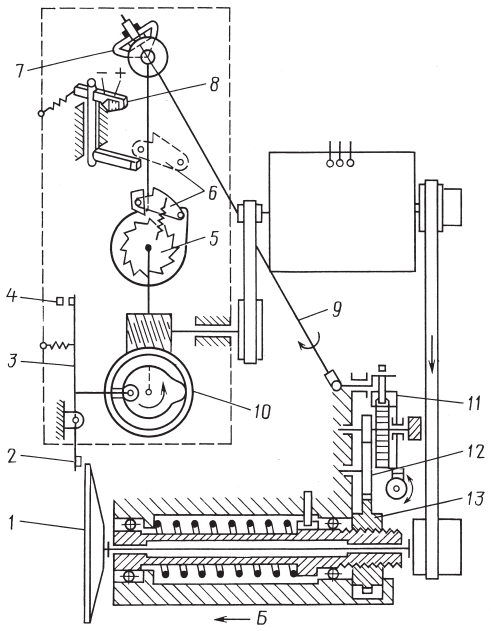


Рис. 12.42. Конструкция и принцип действия правящего устройства зубошлифовального станка:
1 — шлифовальный круг; *2* — профилирующий алмаз для правки шлифовального круга; *3* — рычаг; *4* — электроконтакт; *5* — храповое колесо; *6* — защелка; *7* — коническое колесо; *8* — электромагнит; *9* — коленчатый вал; *10* — червячное колесо; *11* — храповик; *12* — передача; *13* — гайка подачи на врезание

Только в редких случаях обработка зубчатых колес проводится с теоретически идеальным эвольвентным кон-

туром. Чаще для получения требуемых характеристик по шуму и максимально допустимой нагрузке стремятся получить отклонения профиля (эвольвенты) за счет корректирующих движений механизмов станка A_1—A_4 (см. рис. 12.41). Коррекция направления зуба (например, бочкообразность по высоте, укорочение головки) достигается путем соответствующего профилирования шлифовального круга.

Обработка зубчатых изделий (шлицевых валов, реек и др.) по методу копирования ведется, как правило, на профилешлифовальных станках с одним профилирующим шлифовальным кругом, который шлифует одновременно боковую поверхность и основание зуба. Шлифовальный круг профилируется с помощью правящих устройств, в которых либо регулируется правильный алмаз с помощью копиров или систем с обкатными секторами, либо воспроизводится эвольвентный профиль с помощью алмазных правящих инструментов.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

Станки для обработки конических колес с прямым и дуговым зубьями

13.1. Общие сведения

Конические колеса служат для передачи вращения между валами с пересекающимися осями. Их называют угловыми передачами. В наиболее распространенном частном случае, когда угол между осями валов равен 90°, передача называется ортогональной. Боковая поверхность зуба конического колеса образуется двумя производящими линиями, характеризующими соответственно профиль и форму зуба по длине. Рассмотрим эти линии.

При зацеплении пары конических колес их начальные конусы катятся без скольжения друг по другу (рис. 13.1, *а*, *б*), а окружности их оснований постоянно находятся на сфере радиусом *OP*, равным длине их общей образующей. Полагая эти окружности аналогичными начальным окружностям в цилиндрической передаче, видно, что профиль зуба конического колеса должен строиться на сфере, т.е. представлять собой пространственную кривую. Так, например, при эвольвентном зацеплении профиль зубьев колес должен представлять собой сферическую эвольвенту [19].

Форму зуба по длине характеризует линия пересечения начального конуса с боковой поверхностью зуба. У прямозубых конических колес эта линия прямая, так как образующие начального конуса и боковой поверхности сходятся в общей вершине — точке пересечения осей колес. Во всех же остальных случаях эта линия будет представлять собой пространственную кривую. Такой характер

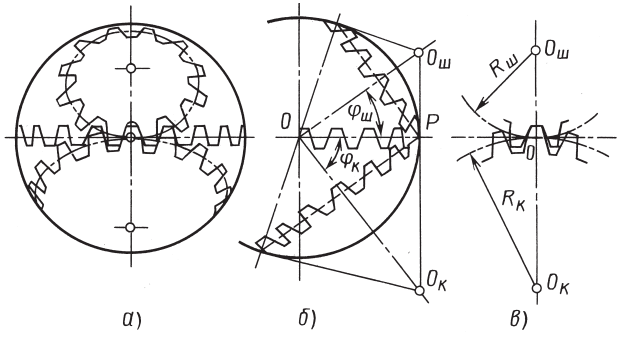


Рис. 13.1. Зацепление конических зубчатых колес:
а — зацепление зубьев конической пары на сфере; *б* — дополнительные конусы; *в* — зацепление зубьев эквивалентной цилиндрической пары

производящих линий (в общем случае кривые двоякой кривизны), образующих боковую поверхность зуба конического колеса, является серьезным препятствием в разработке способов профилирования зубьев и в создании кинематики соответствующих станков. По этой причине при профилировании сопряженных конических колес их рассматривают не в зацеплении друг с другом, а в зацеплении каждого из них в отдельности с плоским воображаемым производящим колесом, радиус которого равен длине образующей *OP* (рис. 13.1, *б*). Очевидно, что если два конических колеса точно сопряжены с одним воображаемым производящим колесом, то они будут сопряжены также и друг с другом.

При расчете же параметров конической передачи в целом (угол зацепления, коэффициент профильного перекрытия, высотные пропорции зубьев и т. д.) используется прием, при котором зацепление пары конических колес принимается эквивалентным зацеплению цилиндрических с радиусами начальных окружностей $R_ш$ и $R_к$ (рис. 13.1, *в*), равными длинам образующих дополнительных конусов (т.е. дополняющих каждый из углов начального конуса до прямого), построенных на осях вращения $00_ш$ и $00_к$ и касательных к сфере (рис. 13.1, *в*). Так как угол при вершине начального конуса плоского колеса равен 180°, то линия, определяющая форму зуба по длине, лежит на плоскости, и по характеру именно этой линии принято называть отдельные разновидности конических колес.

Из возможных форм зуба по длине чаще используются (рис. 13.2): прямая форма (конические колеса с прямыми и тангенциальными зубьями), дуга окружности (колеса с дуговыми зубьями и с нулевым углом спирали) и реже — эвольвента и эпициклоида (конические колеса с криволинейными зубьями). Применение этих линий обусловлено тем, что их легче реализовать на станках с помощью комбинаций простых равномерных поступательных и вращательных движений.

Плоское колесо в зацеплении конических зубчатых колес имеет такое же значение, как зубчатая рейка в зацеплении цилиндрических зубчатых колес, т. е. представляет собой круговую рейку (рис. 13.3, *а*). Радиус воображаемого плоского колеса $R_{пл}$, равный длине образующей L (см. рис. 13.3, *а*), может быть найден из треугольника *OAB* (рис. 13.3, *б*):

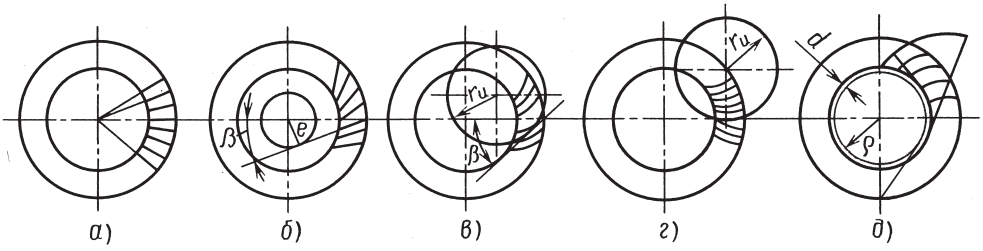


Рис. 13.2. Форма зуба по длине на плоском колесе для конической передачи: *а* — с прямыми зубьями; *б* — с тангенциальными зубьями: *е* — эксцентриситет, β — угол наклона зубьев в середине зубчатого венца; *в* — с дуговыми (круговыми) зубьями: β — угол наклона зубьев (угол спирали) в средней точке зубчатого венца, $r_и$ — радиус окружности; *г* — с дуговыми зубьями при нулевом угле спирали; *д* — с криволинейными зубьями, очерченными по эвольвенте: ρ — радиус основной окружности, *d* — смещение внутреннего торца зубчатого венца

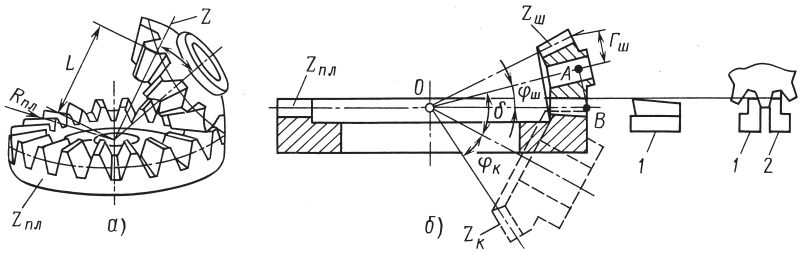


Рис. 13.3. Плоское производящее колесо:
а — зацепление конического колеса с плоским колесом; *б* — зацепление с плоским колесом конической пары с межосевым углом $\delta < 90^\circ$

$$R_{пл} = \frac{r_ш}{\sin \varphi_ш},$$

где $r_ш$ — радиус начальной окружности шестерни (задается на наружном торце зубьев); $\varphi_ш$ — угол делительного конуса шестерни.

Так как числа зубьев пропорциональны радиусам начальных окружностей, то можно написать

$$Z_{пл} = \frac{Z_ш}{\sin \varphi_ш} = \frac{Z_к}{\sin \varphi_к},$$

где $Z_ш$ и $Z_к$ — числа зубьев соответственно шестерни и колеса данной конической пары.

Углы $\varphi_ш$ и $\varphi_к$ делительных радиусов сопряженной пары зависят от межосевого угла δ [19] и для $\delta < 90^\circ$ определяются по формулам

$$\operatorname{tg}\varphi_ш = \frac{\sin \delta}{i + \cos \delta};\ \varphi_к = \delta - \varphi_ш,$$

где $i = Z_к / Z_ш$ — передаточное число.

Для ортогональной пары угол $\delta = 90^\circ$ и число зубьев плоского колеса определяются выражением

$$Z_{пл} = \sqrt{Z_ш^2 + Z_к^2}.$$

Число $Z_{пл}$ является условной величиной, оно обычно выражается смешанным числом и вычисляется с точностью до четвертого знака после запятой. Из приведенной зависимости $Z_{пл}$ от $Z_ш$ ($Z_к$) и δ следует очень важная особенность плоского колеса, а именно: оно индивидуально для каждой пары сопряженных колес или, иначе, каждое из колес данной сопряженной пары может сцепляться только с одним, общим для них, плоским колесом.

Если на плоском колесе с воображаемыми зубьями $Z_{пл}$ создать один реальный зуб (или межзубовую впадину (см. рис. 13.3, *б*)) в виде двух резцов *1* и *2* правого и левого профилей, совершающих движение со скоростью резания вдоль линии зуба, то, обкатывая по этому участку плоского колеса нарезаемое колесо, на нем можно прорезать одну межзубовую впадину (нарезают один зуб). Поворачивая периодически заготовку на один или несколько зубьев, т.е. осуществляя процесс

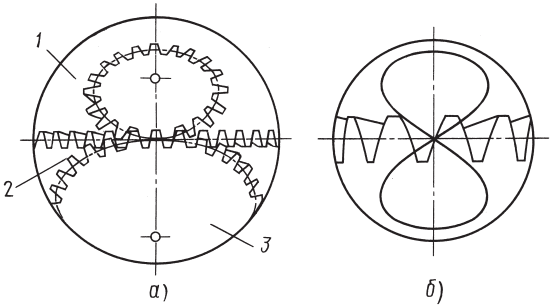


Рис. 13.4. Зацепление зубьев конической передачи:
а — с плоским колесом: *1* — шестерня, *2* — плоское колесо, *3* — колесо; *б* — форма линии зацепления на сфере

деления, можно прорезать и все остальные впадины, а затем аналогичным образом нарезать и второе колесо данной сопряженной пары.

Именно по такой схеме нарезаются (шлифуются) конические колеса обкатных передач, в которых методом обката образуется профиль зуба, а зуб по длине получается методом следа (при нарезании прямозубых колес) или касания. Резцы, реализующие зуб на плоском колесе, имеют прямолинейную режущую кромку, которая при обкате на заготовке образует октоидный профиль, незначительно отличающийся от эвольвентного. Такое название он получил по форме линии зацепления в конической передаче, рассмотренной на сферической поверхности и напоминающей фигуру восьмерки (рис. 13.4, *б*).

Реального плоского колеса на станках нет, так как при переходе к нарезанию другой пары колес необходим переход и к новому плоскому колесу, отличающемуся от предыдущего не только диаметром и числом $Z_{пл}$, но и формой зубьев по профилю и по длине, однако геометрически такое «колесо» присутствует. Его функции выполняет узел, называемый во всех станках для обработки обкатных пар люлькой, ось вращения которой соответствует оси вращения плоского производящего колеса. На люльке располагаются устройства для закрепления зубообрабатывающего инструмента и регулирования траектории его движения вдоль боковой поверхности зуба плоского колеса, а также механизмы для передачи им главного движения.

В целях повышения жесткости и упрощения конструкции люльки в подавляющем большинстве станков отказываются от регулирования, связанного с реализацией производящего колеса с теоретическим углом начального конуса, равным $\varphi_{пл} = 90°$ (рис. 13.5).

Как видно из рис. 13.6, при сцеплении с таким воображаемым колесом нарезаемого колеса *5* люлька станка *1* должна иметь поворотные направляющие *2* для суппортов *3* с резцами *4*, допускающие их установку на угол ножки нарезаемого зуба γ. В большинстве же станков используется воображаемое колесо с плоским наружным

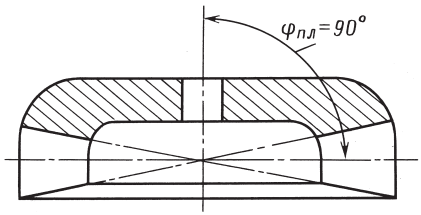


Рис. 13.5. Плоское производящее колесо с углом начального конуса $\varphi_{пл} = 90°$

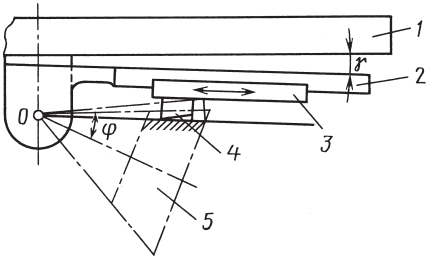


Рис. 13.6. Схема нарезания зубьев в зацеплении с плоским колесом $\varphi_{пл} = 90^{o}$

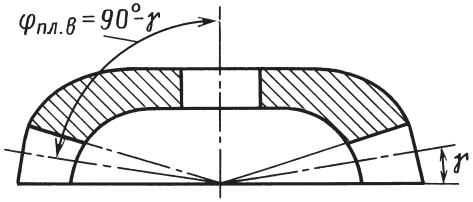


Рис. 13.7. Плоское производящее колесо с углом начального конуса $\varphi_{пл} = 90^{o} - \gamma$ (плосковершинное колесо)

конусом, при котором необходимость в поворотных направляющих отпадает (рис. 13.7). Угол начального конуса у такого плосковершинного производящего колеса равен $(90^{o} - \gamma)$ (рис. 13.7).

Колеса конической пары, нарезанной в сцеплении с таким производящим колесом, не являются сопряженными, однако получающиеся при этом искажения профиля зуба не оказывают заметного влияния на работу передачи, если $\gamma \le 3^{o}$ [36]. Кроме того, в производстве конических колес обкатных пар часто вносят различные искажения в геометрию инструмента и поправки в наладку станков, позволяющие получить качественное зацепление и при бóльших значениях угла γ [43].

Ниже показаны наиболее распространенные способы обработки конических колес с прямыми и дуговыми зубьями. На рис. 13.8, *а* приведена схема нарезания конических колес с прямым зубом на зубострогальном станке. На люльке *2* установлены два суппорта с резцами *3*, которые совершают со скоростью резания возвратно-поступательное движение в радиальном направлении и образуют межзубовую впадину на воображаемом плоском колесе *7*. Обрабатываемое колесо *4*, находящееся в зацеплении с плоским колесом, установлено на шпинделе бабки изделия *6*. Червячные передачи *1* и *5* приводят во вращение люльку и шпиндель заготовки, имитируя зацепление колес: плоского $Z_{пл}$ и нарезаемого $Z_{заг}$. Это движение обката осуществляется медленно, со скоростью подачи. После обработки одного зуба (рис. 13.8, *б*) заготовка выходит из зацепления с инструментом, возвращается вместе с люлькой в первоначальное положение, и происходит деление для обработки следующего зуба.

Способ нарезания конических прямозубых колес двумя дисковыми фрезами показан на рис. 13.9. Фрезы *1* и *2*, установленные на люльке станка, наклонены друг к другу. Это позволяет резцам дисковой фрезы *1* входить в промежутки между резцами фрезы *2* и соответственно резцам фрезы *2* — в промежутки фрезы *1*, образуя таким образом на плоском воображаемом колесе *4* один зуб. Фрезы не имеют перемещения вдоль зуба, поэтому дно нарезаемой впадины получает несколько вогнутую форму, что зависит от соотношения диаметра фрез и ширины зубчатого венца нарезаемого колеса *3*. Так как высота профиля на концах зуба соответствует значению чертежа и лишь в середине она несколько больше, эта форма зуба практически не оказывает влияния на точность зацепления, прочность и работоспособность конической передачи [18].

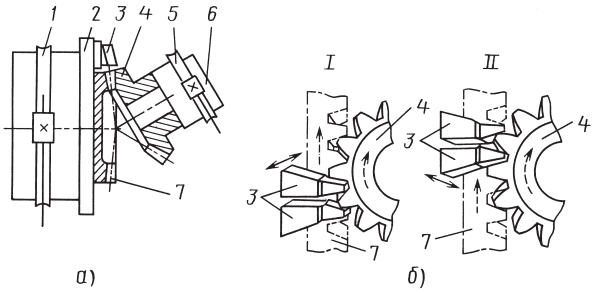


Рис. 13.8. Нарезание зубьев на зубострогальном станке:
а — рабочая зона станка; *б* — положение резцов в начале (схема *I*) и в конце (схема *II*) обработки зуба

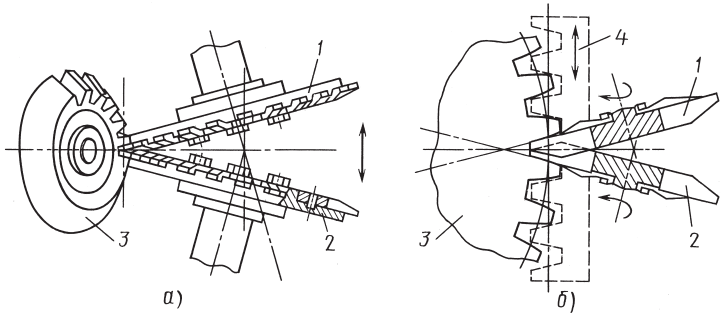


Рис. 13.9. Зубофрезерование конических колес:
а — схема нарезания зубьев; *б* — воспроизведение зубьев плоского колеса

При нарезании конического колеса *3* с дуговыми (круговыми) зубьями (рис. 13.10) резцы *5* правого и левого профилей размещены поочередно по периферии резцовой головки *4*, которая при наладке располагается на люльке *2* станка так, чтобы на ободе воображаемого плоского колеса *1* был образован зуб с требуемым углом спирали β (см. рис. 13.2). В обоих методах, представленных на рис. 13.9 и 13.10, кроме вращения инструмента должны быть осуществлены движение обката и процесс деления, например в такой же последовательности, как при зубострогании. Прямолинейная форма зуба плоского воображаемого колеса существенно упрощает профилирование инструмента, что особенно важно для правки кругов при зубошлифовании.

Зубошлифовальные станки для обкатных пар конических колес строятся по тому же принципу, что и зуборезные, с той разницей, что реальный зуб на плоском колесе образуется абразивным инструментом. На рис. 13.11 показаны основные способы шлифования зубьев конических колес обкатных передач. Прямозубые конические колеса шлифуют двумя способами. Наиболее распространенным является шлифование двумя наклонными шлифовальными кругами *1* (рис. 13.11, *а*), совершающими кроме вращения возвратно-проступательное движение вдоль образующей конуса впадин. Круги образуют межзубовую впадину на плоском воображаемом колесе, в которой при обкате и шлифуется зуб колеса *2*. В течение цикла обработки зубчатого колеса круги правят 2…4 раза.

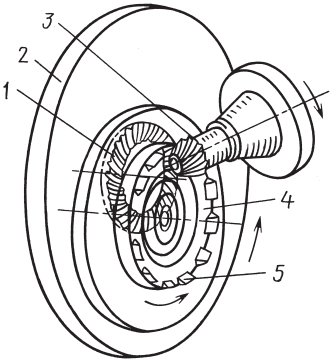


Рис. 13.10. Схема нарезания конического колеса с дуговыми (круговыми) зубьями

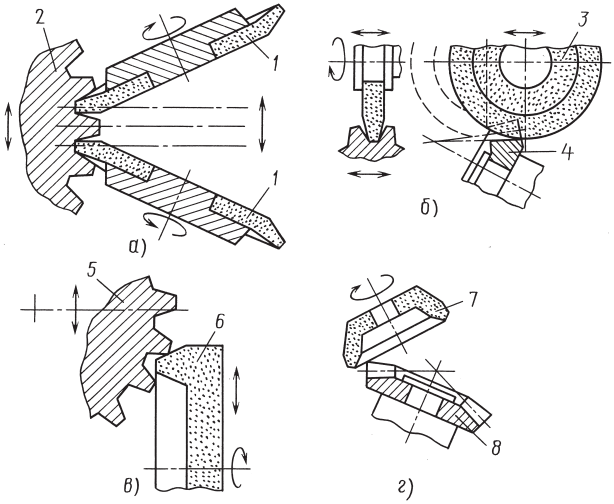


Рис. 13.11. Способы шлифования зубьев конических колес: *а* — наклонными шлифовальными кругами; *б* — дисковым кругом; *в* — чашечно-цилиндрическим кругом; *г* — чашечно-коническим кругом

Другим способом прямозубые конические колеса шлифуют одним дисковым кругом (рис. 13.11, *б*), периферия которого заправлена под углом исходного контура зуба плоского колеса. Кроме вращения и согласованного обката с зубчатым колесом *4,* шлифовальный круг *3* совершает перемещение вдоль зуба. Обычно каждую сторону зуба колеса шлифуют отдельно, только при постоянной ширине дна межзубовой впадины производят одновременное шлифование обеих сторон зубьев. Конические колеса с модулем 1,5 мм и менее шлифуют из целой заготовки [18].

Конические колеса *с дуговыми зубьями* шлифуют чаще всего чашечно-цилиндрическими шлифовальными кругами *6*, осевое сечение которых подобно резцам резцовых головок (рис. 13.11, *в*). Однако при шлифовании колес с большим углом делительного конуса (более 50…60°) он малопроизводителен, так как с увеличением делительного угла возрастает площадь контакта между кругом *6* и боковой поверхностью шлифуемого колеса *5*, и во избежание прижогов процесс шлифования ведут на пониженных режимах. Этого недостатка нет при использовании чашечно-конических кругов (рис. 13.11, *г*). Значительно меньшая площадь контакта между кругом *7* и зубьями колеса *8* позволяет работать с большими окружными скоростями, но реализация этого способа возможна лишь на станках с наклоняющимся к оси вращения люльки инструментальным шпинделем.

Разновидностью метода обката, используемого в производстве конических колес разных типов, является *полуобкатной метод*, отчего и передачи, нарезанные с его применением, называются полуобкатными. Такие передачи можно применять в том случае, если передаточное число конической пары 3 : 1 и выше [18]. Этот метод заключается в том, что нарезание зубьев колеса, имеющих небольшую кривизну профиля, производят плоским производящим колесом без

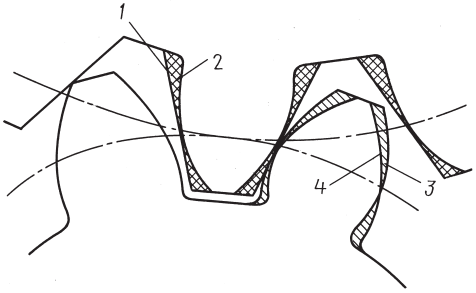


Рис. 13.12. Сравнение октоидного профиля с профилем зубьев колеса и шестерни полуобкатной пары:
1 — прямолинейный профиль зубьев колеса; *2* — октоидный профиль зуба колеса; *3* — октоидный профиль зуба шестерни; *4* — модифицированный профиль зуба шестерни

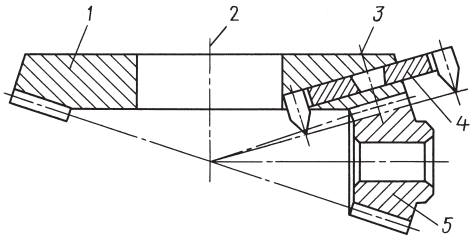


Рис. 13.13. Схема нарезания шестерни полуобкатной конической передачи:
1 — коническое производящее колесо; *2* — ось люльки; *3* — ось инструментального шпинделя; *4* — резцовая головка; *5* — нарезаемая шестерня

обката, т.е. методом копирования, что значительно сокращает время обработки. Нарезанные таким образом зубья колеса полуобкатной передачи имеют реечный профиль, и по сравнению с нормальным октоидным профилем они обладают некоторым избытком металла на головке и ножке зуба (рис. 13.12).

Чтобы компенсировать отсутствие кривизны профиля зубьев колеса, у зубьев шестерни полуобкатной передачи с головки и ножки зуба срезается соответствующая часть металла. Модифицированный профиль шестерни получают методом обката в сцеплении не с плоским, а с конусным производящим колесом, параметры которого должны точно соответствовать параметрам колеса, нарезанного без обката (рис. 13.13). Нарезку зубьев производят стандартным зубообрабатывающим инструментом и по обычной технологии обработки зубьев обкатных пар. Принцип конусного производящего колеса реализуется на станках с наклоняющимся инструментальным шпинделем. При этом движение обката — вращение люльки и нарезаемой шестерни — должно быть таким, чтобы отношение их угловых скоростей было обратным отношению чисел зубьев колеса и шестерни полуобкатной пары. В некоторых случаях шестерня полуобкатной передачи может быть нарезана на станках с ненаклоняющимся инструментальным шпинделем, т.е. в сцеплении с плоским производящим колесом, если в станке имеется специальный механизм модификации обката или, сокращенно, модификатор (рис. 13.14).

При этом способе требуемый профиль зуба шестерни получается в результате неравномерного вращения люльки в процессе обката за счет того, что червяк *4* в червячной передаче вращения люльки получает два движения: равномерное вращение от цепи обката и неравномерное осевое перемещение от модификатора. Механизм модификации работает следующим образом: движение от вращающегося червяка *4* люльки передается через цепь, включающую в себя гитару сменных колес $i_м$, диск модификатора *2* с эксцентрично расположенным роликом *6*. Этот ролик, поворачиваясь на угол α, воздействует через ползушку *5*, прижимаемую гидроцилиндром *7* на червяк, перемещая его на величину $h_м$, что вызывает дополнительный поворот люльки на угол $\Delta\theta \approx 2h_м/d_к$. В резуль-

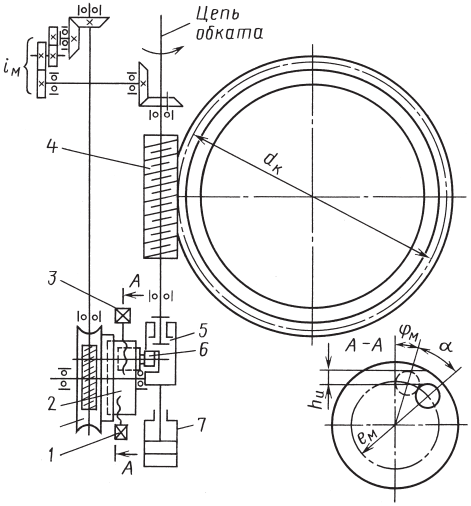


Рис. 13.14. Механизм модификации обката

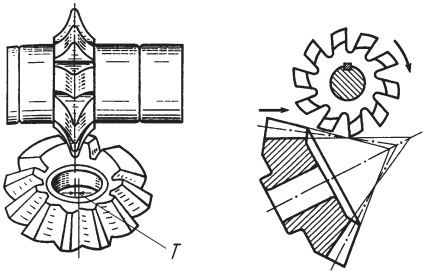


Рис. 13.15. Нарезание прямозубого конического колеса модульной фрезой

тате полный угол поворота люльки $\theta = \theta_0 \pm \Delta\theta$, где θ_0 — угол поворота люльки, сообщаемый ей по цепи обката. Настраиваемыми параметрами модификатора являются: эксцентриситет $e_м$ ролика, передаточное число $i_м$ сменных колес гитары модификатора и угловая координата $\varphi_м$ нулевого положения ролика, соответствующая моменту профилирования средней точки зуба нарезаемой шестерни. Установка заданных значений $\varphi_м$ и $e_м$ осуществляется с помощью рукояток *1* и *3* по соответствующим шкалам.

При нарезании конических колес в крупносерийном производстве находят применение зубофрезерные и зубопротяжные станки, работающие профильным инструментом. Отсутствие обката, стационарное положение заготовки во время нарезания позволяют получить короткие кинематические цепи, жесткую конструкцию станков и обеспечить существенное повышение производительности обработки. Однако точность нарезанных конических колес на этих станках ограничена из-за трудностей в реализации метода копирования при непостоянной форме профиля по длине зуба.

Приведем некоторые примеры применения фасонного инструмента при нарезании конических колес. Дисковые модульные фрезы используются в массовом производстве для чернового нарезания крупных прямозубых конических колес с последующей чистовой обработкой их на обкатных станках. Такие же фрезы могут быть использованы для нарезания небольших зубчатых колес невысокого качества на универсальных фрезерных станках (рис. 13.15). Обработка каждой стороны межзубовой впадины нарезаемого колеса проводится раздельно, для чего необходимо смещение оси заготовки в соответствующую сторону на расчетную величину *T*. Так как правильный профиль зуба получается только в одном среднем сечении, а в остальных сечениях он будет неправильным, данный способ нарезания можно применять лишь для зубчатых колес низкой точности.

Дисковые головки-протяжки (рис. 13.16) являются специальным инструментом и применяются для нарезания прямозубых конических колес дифференциалов транспортных и сельхозмашин на зубопротяжных автоматах в крупносерийном и массовом производстве. Для устранения подрезки в основании зуба конические колеса, нарезанные протяжками, имеют круговой профиль и специальную форму заготовки, поэтому они не взаимозаменяемы с колесами, полученными зубостроганием и зубофрезерованием [18]. Головка-протяжка набирается из 15—17 резцовых блоков по четыре-пять резцов в каждом блоке. Первые 10—13 блоков являются черновыми, а остальные — чистовыми. Свободный от резцов сектор протяжки служит для делительного поворота заготовки на один зуб. В процессе обработки заготовка остается неподвижной, а головка-протяжка помимо вращения имеет поступательное движение в направлении, приблизительно совпадающем с линией основания ножки зуба. Протяжка вращается равномерно, и за один ее оборот проводится окончательная обработка одной впадины. При этом ось протяжки перемещается из положения O_1 в O_2 и обратно по определенному закону, обеспечивающему совместно с переменной формой резцов получение зуба, нормально сужающегося от наружного торца к внутреннему с несколько выпуклой в продольном направлении боковой поверхностью, что дает локализованный контакт при зацеплении.

Круговые головки-протяжки торцового типа (рис. 13.17, *а*) применяются на специальных зуборезных автоматах в массовом производстве для чистового нарезания ведомых колес с дуговым зубом полуобкатных конических передач. Производительность чистового зубопротягивания в 3…5 раз выше чистовой обработки таких колес на зуборезных станках. Как и в предыдущем случае, цикл обработки одной впадины осуществляется за один оборот протяжки, а делительный поворот заготовки на один зуб производят во время прохождения безрезцового участка головки. Резцы расположены в корпусе *6* на разном расстоянии от оси вращения в соответствии с распределением припуска на обработку между от-

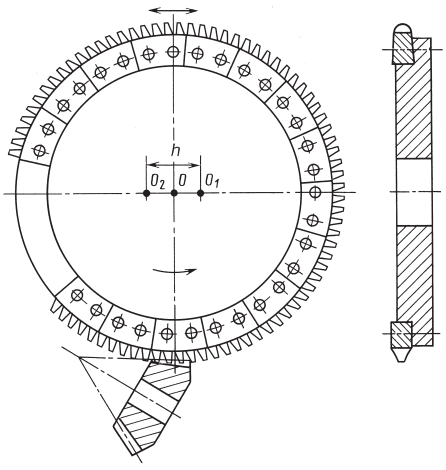


Рис. 13.16. Нарезание прямозубого конического колеса дисковой головкой-протяжкой

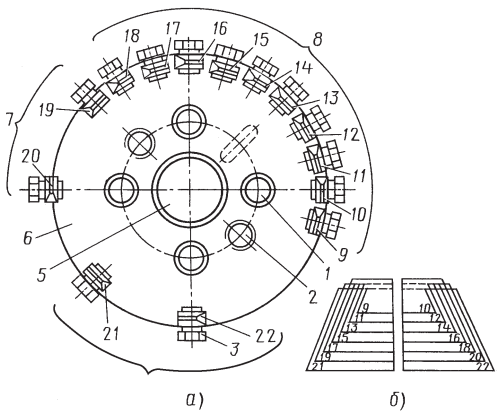


Рис. 13.17. Круговая головка-протяжка (*а*) и схема распределения припуска между резцами (*б*)

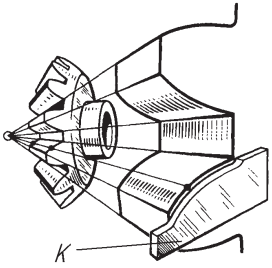


Рис. 13.18. Схема профилирования при строгании прямозубых конических колес по шаблону *K*

дельными резцами (схема на рис. 13.17, *б*). Наружные и внутренние резцы располагаются поочередно и разбиваются на три группы: получистовые *8* (резцы 9—18), чистовые *7* (резцы 19, 20) и калибрующие *4* (резцы 21, 22). Их крепят к корпусу зажимными винтами *3*. Протяжку устанавливают коническим отверстием *5* и торцом на инструментальный шпиндель и крепят винтами через отверстия *1*. Резьбовые отверстия *2* предусмотрены для съема протяжки.

Черновое нарезание зубьев ведомых колес полуобкатной пары производят на том же оборудовании резцовой головкой с осевой подачей инструмента (врезанием) на обрабатываемую заготовку. После нарезания впадины зуба на полную глубину инструмент отводится в исходное положение, осуществляется делительный поворот заготовки и цикл повторяется.

При нарезании конических колес крупного модуля (свыше 16 мм) находят применение станки, работающие пальцевыми фрезами, а также станки, использующие близкий к методу копирования способ нарезания строганием по шаблону (рис. 13.18).

Погрешности изготовления конических колес ограничены допусками, соответствующими определенной степени точности. ГОСТ 1758—81 устанавливает 12 степеней точности: более точные колеса имеют первые номера степеней, менее точные — последние. Каждая степень точности (как и у цилиндрических колес) содержит три нормы: кинематической точности, плавности работы и пятна контакта зубьев в передаче. Допускается комбинирование степеней точности по всем трем видам норм в зависимости от эксплуатационных требований к передаче.

Для повышения точности колес и снижения уровня шума в конической передаче используются зубоотделочные станки: зубошлифовальные и зубопритирочные. Зубошлифовальные станки работают по методу обката, и процесс формообразования на них выше уже рассматривался. На зубопритирочных станках осуществляется процесс приработки зубчатого колеса с парным с подачей в зону зацепления жидкой абразивной смеси. Притирка происходит за счет свойственного каждой зубчатой передаче взаимного скольжения сопряженных поверхностей зубьев, прижимаемых друг к другу с определенной силой.

В процессе притирки осциллирующими движениями многократно изменяется взаимное положение колеса и шестерни. Этим обеспечивается притирка всей поверхности зубьев с сохранением локализованного контакта в зацеплении, полученного на предшествующих операциях. Настройку амплитуд и направлений осциллирующих движений проводят по результатам проверки притираемой пары на контрольно-обкатном станке.

13.2. Кинематические структуры станков для обработки конических колес с прямым и дуговым зубьями

Процесс формообразования боковой поверхности зубьев на зуборезных и зубошлифовальных станках этого типа идентичен, и поэтому их кинематические структуры однотипны. Как уже отмечалось выше, с помощью одного или двух независимых друг от друга простых движений создается зуб на воображаемом производящем колесе, а затем одним сложным формообразующим движением, включающим взаимосвязанные вращения люльки и заготовки, имитируется зацепление производящего и нарезаемого колес. После обработки одного зуба заготовка должна совершить делительный поворот на определенный угол. Так как заготовка участвует и в движении обката, и в движении деления, кинематические группы обката и деления должны быть соединены между собой.

Различают параллельный, последовательный и смешанный (параллельно-последовательный) способы их соединения [64], в соответствии с которыми видоизменяется и кинематическая структура станка. Рассмотрим эти структуры на примере станка для нарезания (шлифования) конических колес с дуговым зубом. При параллельном способе соединения групп обката $Ф(B_2B_3)$ и деления $Д(B_4)$ (рис. 13.19, *а*) делительный поворот заготовки на один зуб совершается без прерывания сложного движения обката (параллельно) через суммирующий механизм (дифференциал), расположенный во внутренней связи этой группы. Это происходит во время холостого хода, когда люлька и заготовка возвращаются в исходное положение. По команде от системы управления делительный диск расфиксируется и одновременно включается муфта M_1, благодаря чему по цепи $M—1—2—i_S—8—10—11—\Sigma—i_{дел}—7$ заготовка получит дополнительное вращение B_4, которое прекратится, когда делительный диск, совершив один оборот, будет остановлен фиксатором, а муфта M_1 выключена. Управление быстрым отводом-подводом заготовки в начале и конце холостого хода, включением реверса *P,* муфты M_1 и расфиксацией делительного диска *ДД* при делении осуществляется барабаном (распределительным валом) управления (БУ), который совершает за цикл один оборот.

Расчетные перемещения для кинематической настройки органов i_v, $i_{проф}$, $i_{к.л}$, i_s и $i_{дел}$ (подробнее см. т. 1, гл. 2) этой типовой структуры имеют следующие значения:

• i_v — настройка частоты вращения инструмента, соответствующей требуемой скорости резания; n (мин$^{-1}$) двигателя $M \to n$ (мин$^{-1}$) резцовой головки; при этом расчетная цепь на схеме включает: $M—1—2—i_v—3—4—B_1$; $i_{проф}$ — настройка цепи обката, имитирующей зацепление производящего и нарезаемого колес;

• $\frac{1}{Z_{пл}}$ об. люльки $\to \frac{1}{Z_{заг}}$ об. заготовки, или в более удобной для расчетов форме записи:

$$1 \text{ об. люльки} \to \frac{Z_{пл}}{Z_{заг}} \text{ об. заготовки;}$$

расчетной цепью на схеме будет $B_2—5—6—i_{проф}—\Sigma—i_{дел}—7—B_3$;

• $i_{к.л}$ — настройка угла θ^o качания люльки, необходимого для получения полного профиля зуба на заготовке,

$$\frac{\delta^o_{р.х}}{360^o} \text{ об. барабана } БУ \rightarrow \frac{\theta^o}{360^o} \text{ об. люльки,}$$

где $\delta^o_{р.х}$ — угол поворота барабана, соответствующий рабочему ходу станка (берется из паспорта станка); θ^o — рассчитывается в зависимости от конкретных параметров нарезаемого колеса [19];

расчетная цепь на схеме *БУ—9—8—Р—*$i_{к.л}$*—6—5—*B_2;

• i_s — настройка цикловой подачи, соответствующей продолжительности, с, одного цикла $t_ц$ работы станка,

$$\frac{nt_ц}{60} \text{ об. двигателя } M \rightarrow 1 \text{ об. барабана БУ;}$$

расчетная цепь на схеме *М—1—2—*i_s*—8—9—БУ*;

• $i_{дел}$ — настройка делительного поворота заготовки 1 об. диска $ДД \rightarrow \frac{1}{Z_{заг}}$ об. заготовки;

расчетная цепь на схеме: *ДД—11—*Σ*—*$i_{дел}$*—7—*B_4.

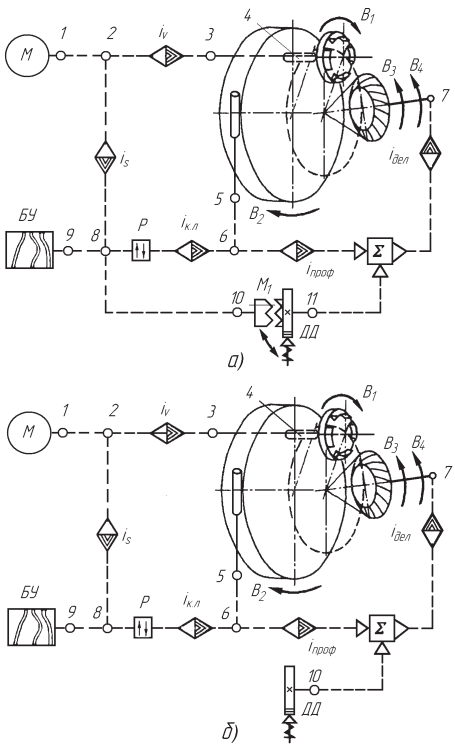


Рис. 13.19. Кинематические структуры станков для нарезания конических колес с дуговыми зубьями:
а, *б* — соответственно при параллельном, последовательном способе соединения групп формообразования и деления

При последовательном способе соединения группы $Ф(B_2B_3)$ и $Д(B_4)$ работают поочередно. Во время холостого хода сложное движение обката прерывается, к заготовке присоединяется цепь деления, и она совершает делительный поворот на 1 зуб. После этого цепь деления отключается, восстанавливается кинематическая связь между люлькой и заготовкой и цикл работы станка продолжается до его завершения. Поочередное присоединение заготовки к разным группам осуществляется с помощью кулачковых (однопазовых) муфт, дифференциала и других устройств, обеспечивающих синхронное переключение связей.

При использовании, например, дифференциала типовая структура последовательного способа соединения групп (рис. 13.19, *б*) почти полностью повторяет предыдущую структуру (см. рис. 13.19, *а*), за исключением цепи, сообщающей в период деления вращение делительному диску. Переключение групп обката и деления в этом случае

происходит следующим образом. Во время холостого хода, когда делительный диск будет расфиксирован, вращение заготовки прекратится (прервется движение обката), а делительный диск, наоборот, начнет отсчетный один оборот в группе деления. В момент останова фиксатором делительного диска движение деления прекратится, вращение заготовки возобновится, и движение обката будет восстановлено. Такое переключение обеспечивается тем, что момент сил сопротивления в цепи между дифференциалом и заготовкой (при освобожденном делительном диске) значительно превышает аналогичный момент в цепи дифференциал — делительный диск.

При кинематической настройке этой структуры указанные выше расчетные перемещения сохраняют свои значения, в том числе и для органа $i_{дел}$. Особенность процесса деления в данном случае состоит в том, что заготовка не обгоняет производящее колесо на один зуб, а наоборот, отстает от него, т.е. делительный поворот на один зуб осуществляется как бы в обратном направлении.

При смешанном (параллельно-последовательном) способе соединения групп (рис. 13.20) во время холостого хода только люлька возвращается в исходное положение, а заготовка не меняет своего направления вращения, и с началом нового цикла на ней будет нарезаться зуб, отстоящий от только что нарезанного на Z_i пропущенных зубьев. Делительный поворот заготовки $Д(B_3)$ в этом случае составляет не $1/Z_{заг}$, как это было при первых двух способах, а $Z_i/Z_{заг}$, и осуществляется он в течение всего цикла работы станка. Таким образом, вращение заготовки при нарезании всех зубьев представляет собой непрерывное следование делительных циклов $Z_i/Z_{заг} + Z_i/Z_{заг} + \ldots + Z_i/Z_{заг}$, при этом числа Z_i и $Z_{заг}$ не должны иметь общих множителей.

Во время рабочего хода часть делительного поворота заготовки B'_3 является составной частью сложного движения обката $Ф(B_2B'_3)$, и, следовательно, в это время параллельно работают обе группы, тогда как при холостом ходе будет работать лишь группа $Д(B_3)$.

Смешанный способ соединения групп реализуется включением в цепь между люлькой и заготовкой реверса без проскальзывания, в качестве которого используются кулачки барабанного типа [64] и зубчатые реверсы из цилиндрических и конических колес [19].

В типовой структуре на рис. 13.20 применен реверс в виде подковообразного составного зубчатого колеса, полученного путем стыковки отдельных секторов зубчатых колес с наружным и внутренним зацеплениями. При постоянном направлении вращения ведущей шестерни реверса $Z_{вщ}$ реверсирование составного зубчатого колеса наступает в момент перехода колеса $Z_{вщ}$ от зацепления с внешним контуром подковы с внутренними зубьями к зацеплению с внутренним контуром подковы с наружными зубьями (см. схему вспомогательного хода), а также при последующей смене контуров подковы в обратном порядке. За один цикл составное колесо совершает одно качательное движение, которое передается люльке станка через наружный зубчатый венец, ведомое колесо $Z_{вд}$ и цепь с органом настройки $i_{проф}$.

Количество пропускаемых на заготовке зубьев Z_i за один цикл деления рассчитывается исходя из требуемого для профилирования зуба угла θ^o качания люльки и возврата ее в исходное положение. Поэтому в данной структуре нет

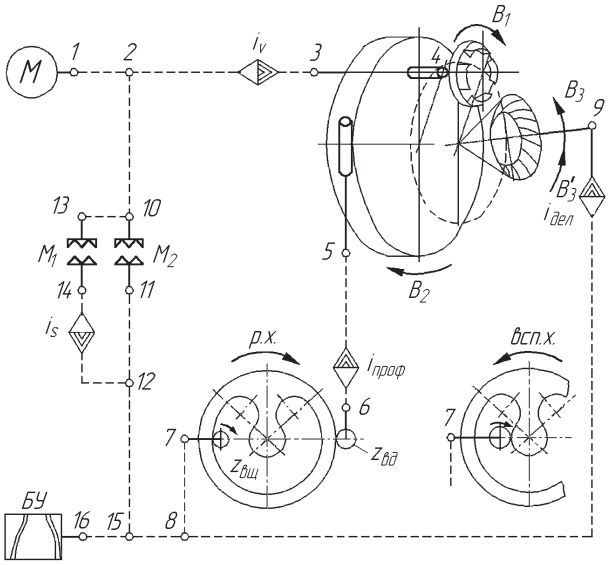


Рис. 13.20. Кинематическая структура станка для нарезания конических колес с дуговыми зубьями при смешанном способе соединения групп формообразования и деления

специального органа настройки $i_{к.л}$ для угла θ^o, который был в предыдущих случаях. Холостой ход люльки часто сопровождается изменением передаточных отношений отдельных передач в цепи обката, и поэтому зависимости для расчета Z_i следует брать из паспорта станка. С помощью органов настройки этой типовой структуры регулируют параметры движений того же физического смысла, что и в предыдущих структурах. При этом расчетные цепи и расчетные перемещения их конечных звеньев для каждого из органов настройки в отдельности имеют вид: i_v — настройка частоты вращения резцовой головки осуществляется точно так же, как и в предыдущих структурах; $i_{проф}$ — настройка цепи обката.

Расчетная цепь

$$B_2—5—i_{проф}—Z_{вд} \text{ — наружный зубчатый венец — внешний контур подковы составного колеса — } Z_{вщ}—8—i_{дел}—9—B'_3.$$

Расчетные перемещения

$$\frac{1}{Z_{пл}} \text{ об. люльки} \rightarrow \frac{1}{Z_{заг}} \text{ об. заготовки, или в более удобной форме:}$$

$$1 \text{ об. люльки} \rightarrow \frac{Z_{пл}}{Z_{заг}} \text{ об. заготовки;}$$

$i_{дел}$ — настройка цепи деления.

Расчетная цепь *БУ—16—15—8—*$i_{дел}$*—9—*B_3.

Расчетные перемещения

$$1 \text{ об. барабана } БУ \rightarrow \frac{Z_i}{Z_{заг}} \text{ об. заготовки;}$$

i_s — настройка цикловой подачи, с.

Этот орган включается муфтой M_1 только при рабочем ходе станка, поэтому из общего времени цикла $t_ц = t_{р.х} + t_{х.х}$ и соответственно полного оборота барабана управления $\delta^o_{р.х} + \delta^o_{х.х} = 360^o$ следует учитывать только их рабочие составляющие.

Расчетная цепь *М—1—2—10—13—14—i_s—12—15—16—БУ*.

Расчетные перемещения

$$\frac{nt_{р.х}}{60} \text{ об. двигателя } M \rightarrow \frac{\delta^o_{р.х}}{360^o} \text{ об. барабана } БУ.$$

Вариант такого расположения органа i_s не имеет какой-либо связи со способом соединения групп и встречается во всех структурах. Во время холостого хода муфта M_1 выключена, а M_2, наоборот, включена, и вращение от двигателя M на участке цепи между точками *10* и *12* передается по короткой цепи, минуя i_s. При этом в цепи обката люлька получает дополнительное ускорение за счет изменения передаточного отношения на составном колесе, когда ведущая шестерня реверса $Z_{в.ш}$ перейдет от сцепления с внешним контуром подковы к сцеплению с ее внутренним контуром (сравните положение $Z_{в.ш}$ при рабочем и вспомогательном ходах на рис. 13.20).

Способ соединения групп деления и обката является наиболее существенным фактором, влияющим на кинематическую структуру станка, хотя при одном и том же способе соединения групп кинематические структуры могут отличаться одна от другой, например, применением отдельных двигателей для каждой группы или возможностью включения в цепь обката модификатора и т. д. Подробно кинематическая структура металлорежущих станков и влияние на нее различных факторов рассматриваются в работе [64].

13.3. Станки для обработки прямозубых конических колес

Станки для обработки конических колес с прямыми и круговыми зубьями унифицированы. Каждому наибольшему диаметру обрабатываемых колес 125, 320, 500, 800 и 1600 мм соответствует базовый станок, на основе которого строятся станки для выполнения различных операций: зубострогания, зубофрезерования, зубонарезания, зубошлифования. Основные технические характеристики станков, выпускаемых в России для нарезания прямозубых конических колес приведены в табл. 13.1. На зубострогальных станках нормальной точности, работающих двумя обкатными резцами, нарезают прямозубые колеса 7—8-й степени точности (ГОСТ 1758—81), на станках повышенной (П) точности — 6—7-й степени и на станках высокой (В) точности — 5—6-й степени [18].

На зубофрезерных станках, нарезающих колеса двумя дисковыми фрезами, может быть достигнута 7—8-я степень точности, а на зубопротяжных, используемых обычно в массовом производстве для нарезания прямозубых конических колес дифференциалов автомобилей, — 8—9-я степень.

Зубошлифовальные станки (см. табл. 13.3) относятся к прецизионному оборудованию. Их изготовляют в основном высокой (В), реже повышенной (П) точности; и точность обработанных колес может достигать 5—6-й степени.

13.1. Основные технические характеристики станков для нарезания прямозубых конических колес

Параметр	Зубострогальные станки моделей					Зубофрезерные станки моделей			Зубопротяжные станки моделей
	5Т23В	5236П	5С276П	5С286П	5Е283	5С237	5С267П	5С277П	5С268, 5С269
Диаметр обрабатываемого колеса, мм, не более	125	125	500	800	1600	125	320	500	320
Модуль, мм, не более	1,5	2,5	10	16	30	2,5	8	12	8
Частота движения инструмента, дв.ход/мин или частота вращения, $мин^{-1}$	210…660	160…630	42…400	34…167	17…127	65…320	16…150	20…74	30
Мощность главного привода, кВт	1,1	1,1	4,0	7,5	7,5	1,5	4,0	5,5	10
Масса станка, кг	3000	3000	9000	15500	19000	3100	8800	14000	9500

13.2. Основные технические характеристики станков для нарезания конических колес с круговыми (дуговыми) зубьями

Параметр	Универсальные зуборезные станки моделей						Специальные станки моделей		
	5С23П	5С26В 5С26П	5С270П	5С27П 527В	5С280П	5А284	5С262Е	5С261МП 5С261П	5С272Е
Диаметр обрабатываемого колеса, мм, не более	125	320	500	500	800	1600	320	320	500
Модуль, мм, не более	2,5	5	8	10	16	30	6	6	16
Частота вращения инструмента, $мин^{-1}$	110…550	30…200	26…210	20…150	20…127	8,3…62	8…30	26…166	7,0…200
Мощность главного привода, кВт	2,2	3	4	4	7,5	13	5,5	3	11
Масса станка, кг	3000	9000	8750	14000	15100	42300	8000	7000	14500

Зубострогальный полуавтомат мод. 5236П имеет единую конструктивную базу с полуавтоматами мод. 5Т23В, 5С237 и 5С23П (табл. 13.1 и 13.2), соответствующую типовой кинематической структуре со смешанным способом соединения групп обката и деления (см. рис. 13.20). В соответствии с назначением полуавтоматов их главное отличие заключается в конструкции люльки, а иногда и бабки изделия, если она имеет механизм для вертикального (гипоидного) смещения шпинделя. Общий вид полуавтомата показан на рис. 13.21, а кинематическая схема приведена на рис. 13.22. На станине *9* (см. рис. 13.21) слева закреплена передняя бабка *1*, внутри которой находится люлька *2* в виде барабана с опорами качения по наружному диаметру. На торце люльки расположены направляющие скольжения для двух суппортов *3* с закрепленными на них резцами *4*. Бабку изделия *6* с закрепленной на шпинделе заготовкой *5* вместе с основанием *7* разворачивают на столе *8* вокруг вертикальной оси, чтобы обеспечить определенный угол между осями заготовки и люльки (воображаемого производящего колеса). Для совмещения вершин конусов этих колес бабку изделия перемещают вдоль оси шпинделя по направляющим основания *7*.

Цикл обработки одного зуба включает в себя: быстрый подвод стола с заготовкой к люльке, рабочий ход со скоростью подачи, быстрый отвод стола и ускоренный возврат люльки в исходное положение. Управление необходимыми переключениями в течение цикла осуществляется распределительным валом (см. рис. 13.22), который за цикл совершает один оборот. Конструктивно он выполнен из двух частей (валы *XXIV* и *XXV*), соединенных между собой кинематической цепью с передаточным числом 1 : 1 и включающей: вал *XXIV*, червячную передачу 1/60, цилиндрические колеса 50—50—50, червячную передачу 1/60, вал *XXV*. Кулачки K_2 и K_3 управляют движением стола, K_4 воздействует на микропереключатель счетчика циклов (числа нарезанных зубьев) для остановки полуавтомата после обработки всех зубьев и K_5 переключает электродвигатель постоянного тока *М2* с рабочей на ускоренную частоту вращения. Кулачок K_1, расположенный на валу *XXV*, управляет реверсом.

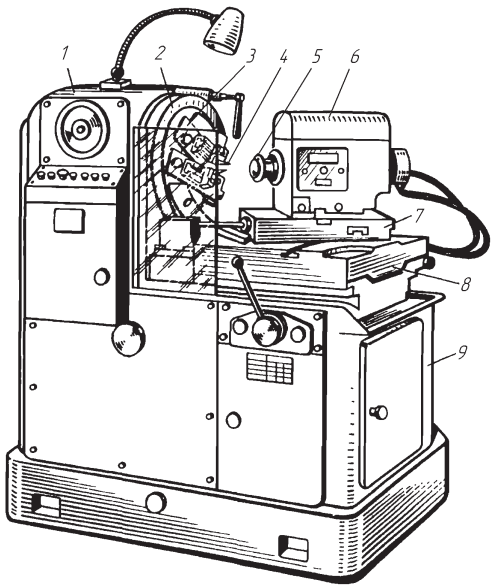


Рис. 13.21. Зубострогальный полуавтомат мод. 5236П

Возвратно-поступательное *движение резцов со скоростью резания* осуществляется приводом от асинхронного электродвигателя *М1* через ременную передачу и систему зубчатых передач до центрального вала *IV* люльки *Л*. Кривошипно-шатунный механизм *КМ* преобразует вращение вала *IV* в возвратно-качательное движение рычага *Р1* вокруг оси *V*, переходящее затем в возвратно-поступательное движение ползунов $П_1$ и $П_2$ с резцами *И*.

13.3. Основные технические характеристики зубошлифовальных станков

Параметр	Зубошлифовальные станки для конических колес					
	прямозубых			с круговыми зубьями		
	587В	5870В	58П70В	5А870В	58К70В	5А872В
Диаметр обрабатываемого колеса, мм, не более	125	320	320	320	320	800
Модуль, мм, не более	3	6	8	6	6	15
Диаметр шлифовального круга, мм	220	250	235…275	250	100…250	160…500
Скорость вращения круга, м/с	до 40	до 30	30	до 35	35	до 35
Мощность главного привода, кВт	1	2,8	2,8	2,8	2,8	4,0
Масса станка, кг	3500	8500	8500	8500	8500	13000

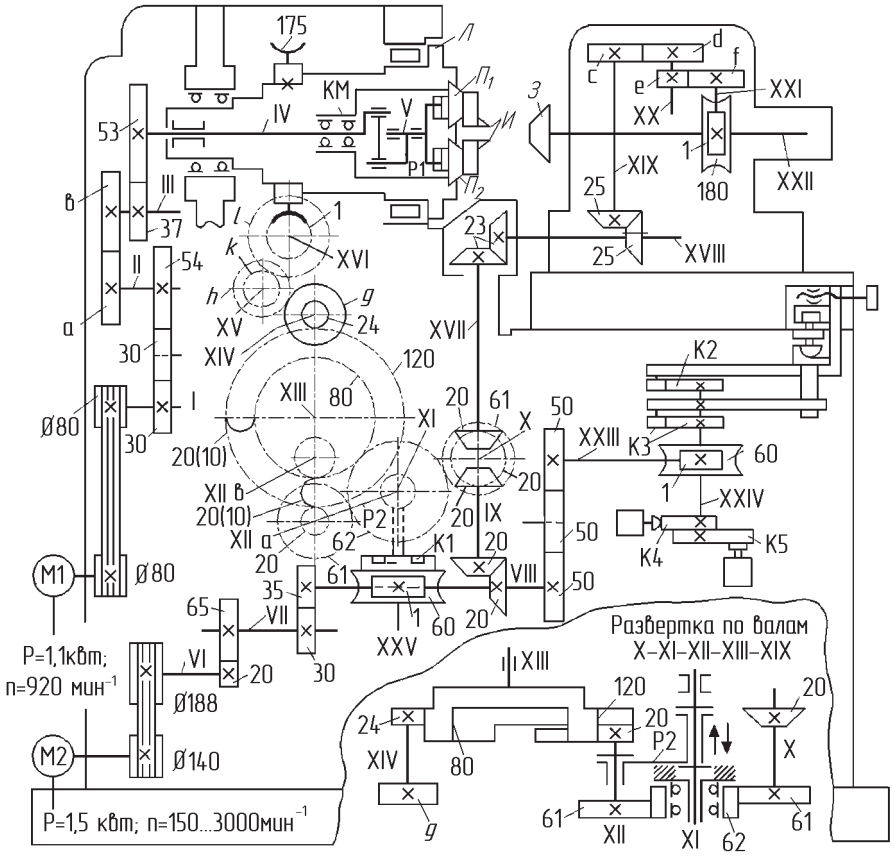


Рис. 13.22. Кинематическая схема зубострогального полуавтомата мод. 5236П

Формула для настройки гитары сменных колес a/b (орган i_v на рис. 13.20) находится из следующего уравнения кинематического баланса:

$$920\cdot\frac{80}{80}\cdot\frac{30}{30}\cdot\frac{30}{54}\cdot\frac{a}{b}\cdot\frac{37}{53}=n \text{ дв.ход/мин, отсюда } \frac{a}{b}=\frac{n}{355}.$$

Для этой гитары предусмотрены следующие числа зубьев сменных колес: 31, 36, 41, 47, 53, 59, 64, 69. Условие сцепляемости: $a+b=100$.

Делительный поворот заготовки на $Z_i/Z_{заг}$ оборота осуществляется в течение всего цикла и настраивается гитарой сменных колес *c, d, e, f* ($i_{дел}$ на рис. 13.20) в цепи: распределительный вал *XXV* — заготовка.

Уравнение кинематического баланса для этой цепи имеет вид

$$1 \text{ об. вала } XXV\cdot\frac{60}{1}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{23}{23}\cdot\frac{25}{25}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{1}{180}=\frac{Z_i}{Z_{заг}},$$

отсюда формула настройки гитары деления будет

$$\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}=\frac{3Z_i}{Z_{заг}}.$$

Цепь обката, согласующая вращение люльки и заготовки, включает в себя: люльку, червячную передачу 1/175, гитару сменных колес *g, h, k, l*, ($i_{проф}$ на рис. 13.20), ведомое зубчатое колесо *24* на валу *XIV* (см. дополнительную развертку по валам), составное зубчатое колесо (реверс) на валу *XIII*, ведущее колесо *20* на валу *XII*, цилиндрические колеса 61—62—61, конические передачи 20/20, 23/23, 25/25, гитару сменных колес *c*, *d*, *e*, *f*, червячную передачу 1/180, шпиндель заготовки *XXII*.

Согласно расчетным перемещениям (см. типовую структуру), для гитары сменных колес *g, h, k, l* уравнение кинематического баланса имеет вид

$$1\cdot\frac{175}{1}\cdot\frac{l}{k}\cdot\frac{h}{g}\cdot\frac{24}{120}\cdot\frac{120}{20}\cdot\frac{61}{62}\cdot\frac{62}{61}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{23}{23}\cdot\frac{25}{25}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{1}{180}=\frac{Z_{пл}}{Z_{заг}},$$

откуда

$$\frac{g}{h}\cdot\frac{k}{l}=\frac{7}{6}\cdot\frac{Z_{заг}}{Z_{пл}}\cdot\frac{c}{d}\frac{e}{f}.$$

С учетом формулы для гитары деления получим

$$\frac{g}{h}\cdot\frac{k}{l}=\frac{7}{2}\cdot\frac{Z_i}{Z_{пл}}.$$

Для гитар сменных колес *c, d, e, f* и *g, h, k, l* используется общий комплект колес со следующими числами зубьев: *2*4, 30, ..., 80 (кроме 32, 35, 38, 45, 49, 51, 55, 57, 65, 77), 82, 83, 86, 89, 90, 91, 93, 94, 97, 100, 101, 104, 109.

Выбор Z_i связан с углом θ качания люльки, так как ее поворот на рабочем ходу, реверсирование и возврат в исходное положение составляют один полный цикл работы станка. Поэтому сначала рассмотрим подробнее работу реверса, примененного в цепи обката этого станка. Составное зубчатое колесо на валу *XIII* совершает за цикл не одно возвратно-поворотное (качательное) движение, как на рис. 13.20, а пять полных оборотов в одном и в другом направлениях, и

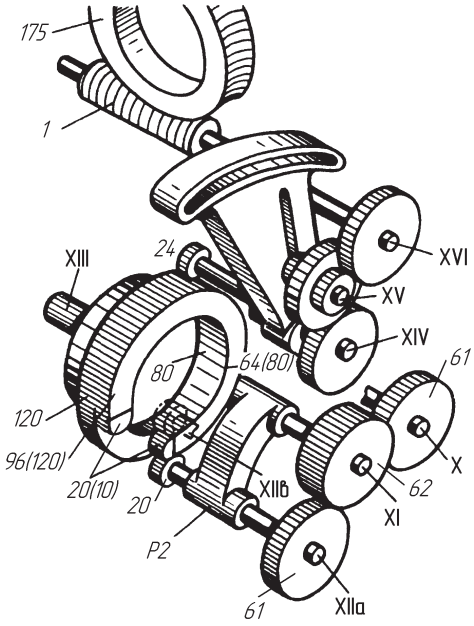


Рис. 13.23. Реверсирующий механизм с составным зубчатым колесом

поэтому оно имеет значительно меньшие габариты по сравнению с реверсом на типовой схеме.

Подковообразная часть составного колеса (вал *XIII*) образует единое целое с зубчатым колесом-кольцом, имеющим наружные (*120*) и внутренние (*80*) зубья (рис. 13.23). Ведущее зубчатое колесо *20* (вал *XIIа*), перейдя, например, от зацепления с наружным участком подковы *96*(*120*) через зубчатое полукольцо *20*(*10*) к зацеплению с ее внутренним участком *64*(*80*) (вал *XIIв*), переместится вместе с валом-кулачком K_1 распредвала (*XXV*) в осевом направлении и войдет в зацепление с цельным внутренним ободом зубчатого кольца (*80*).

В тот момент, когда колесо *20* вошло в зацепление с центральными зубьями полукольца *20*(*10*), рабочий ход станка закончился и начался холостой ход. После пяти оборотов составного колеса работа реверса от кулачка K_1 будет происходить в обратной последовательности и завершится вводом ведущего колеса *20* в зацепление с цельным наружным ободом зубчатого кольца (*120*). Число оборотов ведущего колеса *20*, которое оно делает, зацепляясь с составным колесом, в течение всего цикла будет

$$n_{Z=20} = \frac{120}{20}5 + \frac{80}{20}5 + \frac{96+64+2\cdot10}{20} + 1 = 60.$$

В целях проверки полученного результата проследуем по кинематической цепи от этого колеса к распределительному валу *XXV*:

$$60 \cdot \frac{61}{62} \cdot \frac{62}{61} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{1}{60} = 1 \text{ оборот}.$$

За 34,8 оборота происходит рабочий ход, за 23,2 — обратный холостой, а за 2 оборота — реверсирование. Соответственно и распределительный вал во время рабочего хода поворачивается на угол 208,8°; на холостом ходу — на угол 139,2° и при реверсировании — на угол 12°.

Учитывая, что подвод и отвод стола выполняются на рабочем ходу и при этом распределительный вал поворачивается на угол около 45°, на профилирование зуба (поворот люльки на угол θ°) отводят 160° поворота распределительного вала.

Таким образом, согласно расчетным перемещениям 160° поворота вала *XXV* → θ° поворота люльки, уравнение кинематического баланса будет

$$160^{\circ}\cdot\frac{60}{1}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{61}{62}\cdot\frac{62}{61}\cdot\frac{20}{120}\cdot\frac{120}{24}\cdot\frac{g}{h}\cdot\frac{k}{k}\cdot\frac{1}{175}=\theta^{\circ},$$

откуда

$$\frac{g}{h}\cdot\frac{k}{k}=\frac{7}{2}\cdot\frac{\theta^{\circ}}{160^{\circ}}.$$

Сравнивая это выражение для гитары сменных колес *g, h, k, l* с ранее полученным, находим, что

$$Z_i=\frac{\theta^{\circ}Z_{\text{пл}}}{160^{\circ}}.$$

Угол θ°, как отмечалось выше, рассчитывается с учетом конкретных параметров нарезаемого колеса [19]; при этом установлено, что в зависимости от передаточного числа нарезаемой пары $i_{\text{нар}}$ угол θ° при обработке меньшего колеса конической передачи следует принять так, как указано ниже:

$i_{\text{нар}}$	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
θ	70	60	40	30	24	12

При обработке большего колеса назначить $\theta \le 70^{\circ}$.

Число Z_i, рассчитанное по формуле, должно быть целым (округляется в большую сторону) и не иметь общих множителей с числом $Z_{\text{заг}}$. В противном случае на заготовке нельзя нарезать все зубья, так как после нескольких циклов резцы будут повторно попадать в уже обработанные впадины. Например, при $Z_{\text{заг}}=24$ и $Z_i=8$ будут нарезаны лишь зубья с порядковыми номерами 1, 9 и 17, а при $Z_i=11$ — все зубья.

Углы поворота заготовки при рабочем и холостом ходах неодинаковые, и соответственно число Z_i в цикле разбивается на две неравные части. Соотношение между ними определяется изменением передаточного отношения на составном колесе с 20/120 на 20/80 при реверсировании люльки, а именно: передаточное отношение повышается в 1,5 раза, и части Z_i при рабочем и холостом ходах будут соответствовать отношению 1,5 : 1. Продолжительность цикла, с (цикловая подача), настраивается изменением частоты вращения электродвигателя постоянного тока *М2*.

Рабочая частота вращения $n_{\text{р.х}}$, мин$^{-1}$, должна соответствовать времени рабочего хода $t_{\text{р.х}}$ цикла и повороту распределительного вала на угол $208{,}8^{\circ}$ (аналогично i_S на рис. 13.20).

Расчетными перемещениями при этом будут

$$\frac{n_{\text{р.х}}\cdot t_{\text{р.х}}}{60}\rightarrow\frac{208{,}8^{\circ}}{360^{\circ}}\ \text{об. распределительного вала } XXV.$$

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{n_{\text{р.х}}\cdot t_{\text{р.х}}}{60}\cdot\frac{140}{188}\cdot\frac{20}{65}\cdot\frac{30}{35}\frac{1}{60}=\frac{208{,}8}{360},$$

откуда $n_{\text{р.х}}\approx 6380/t_{\text{р.х}}$.

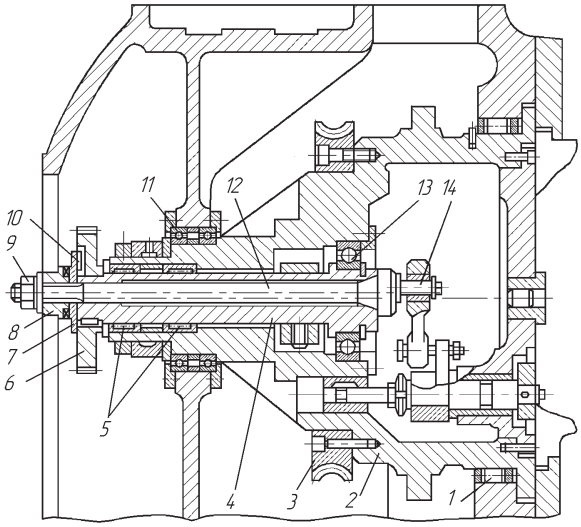


Рис. 13.24. Люлька станка мод. 5236П

Частота вращения двигателя М2 на холостом ходу $n_{\text{х.х}}$, мин$^{-1}$, определяется аналогичным образом при соответствующих времени холостого хода $t_{\text{х.х}}$ и угле поворота распределительного вала 139,2°.

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{n_{\text{х.х}} \cdot t_{\text{х.х}}}{60} \cdot \frac{140}{188} \cdot \frac{20}{65} \cdot \frac{30}{35} \frac{1}{60} = \frac{139,2}{360},$$

откуда $n_{\text{х.х}} \approx 7088/t_{\text{х.х}}$.

Минимальное время холостого хода ограничено динамическими нагрузками, возникающими в приводе при реверсировании люльки. Люлька *2* (рис. 13.24) имеет роликовую переднюю опору *1*; хвостовая часть поддерживается парой радиально-упорных подшипников *11*. Червячное колесо *3* поворачивает люльку. Внутри хвостовой части вращается вал *4* привода главного движения (его передняя опора — шарикоподшипник *13*, сзади два игольчатых подшипника *5*). Зубчатое колесо *6* передает движение валу *4*, а также через торцовую шпонку *10*, зубья муфты *7*, *8* и шлицы — валу *12* кривошипного механизма. Вал *12* эксцентрично расположен внутри вала *4* и связан с кривошипным пальцем *14*. Чтобы регулировать длину хода резцов, необходимо изменять расстояние между осями вала *4* и пальца *14*. Для этого отпускают гайку *9*, разъединяют полумуфты *7* и *8*, поворачивают вал *12* относительно вала *4* и в нужном положении фиксируют, выполняя перечисленные действия в обратном порядке.

13.4. Станки для обработки конических колес с дуговым зубом

В табл. 13.2 (с. 358) приведены основные технические характеристики станков для нарезания конических колес с дуговым зубом, а в табл. 13.3 (с. 360) — зубошлифовальных станков.

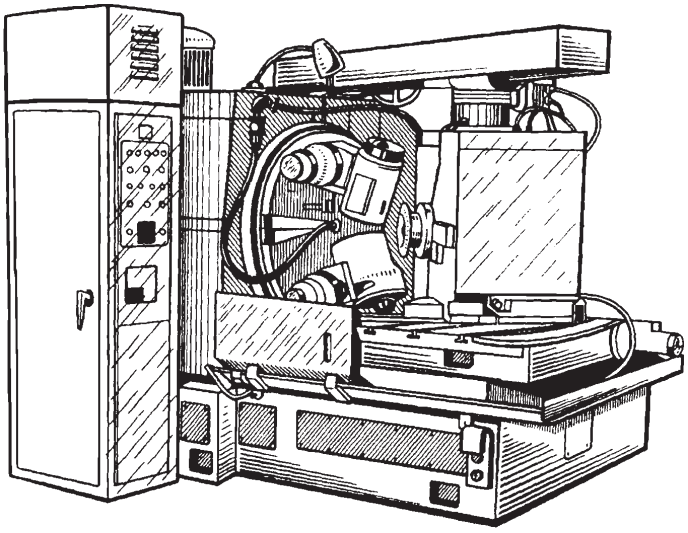


Рис. 13.25. Зубофрезерный полуавтомат мод. 5С267П

Точность конических колес с дуговым зубом, которую можно достичь на прецизионных станках и станках нормальной точности, примерно такая же, как и при обработке прямозубых конических колес. При этом точность нарезанной конической пары в целом существенно зависит от технологического способа чистового нарезания каждого из колес в отдельности.

При чистовой обработке используются резцовые головки двух типов: двусторонняя, с помощью которой можно одновременно обрабатывать вогнутую и выпуклую стороны впадин, и односторонняя — для обработки одной из сторон. Каждая из названных головок требует введения специфических поправок в наладку станка, и поэтому при чистовой обработке пары конических колес выбор технологического способа имеет комплексный характер, учитывающий количество переналадок станка (с учетом чернового нарезания) и необходимый комплект резцовых головок, достигаемую точность пары и производительность и т. д. Подробно эти вопросы рассматриваются в специальной литературе (см. например [19, 43]).

Зуборезный полуавтомат мод. 5С270П предназначен для нарезания конических и гипоидных колес с дуговым зубом средних размеров ($m \le 8$ мм, $d \le 500$ мм) и имеет единую конструктивную базу с полуавтоматами мод. 5С26В (см. табл. 13.2), 5С276П, 5С267П (см. табл. 13.1). Об их компоновке можно судить, например, по внешнему виду зубофрезерного полуавтомата мод. 5С267П (рис. 13.25).

Кинематическая схема полуавтомата мод. 5С270П приведена на рис. 13.26. В станке применен параллельный способ соединения групп обката и деления, и цикл его работы почти полностью совпадает с циклом, рассмотренным в соответствующей типовой кинематической структуре (см. рис. 13.19, *а*). Отличительной особенностью станка является введение дифференциала в цепь обката только в период холостого хода на время сложения делительного поворота заго-

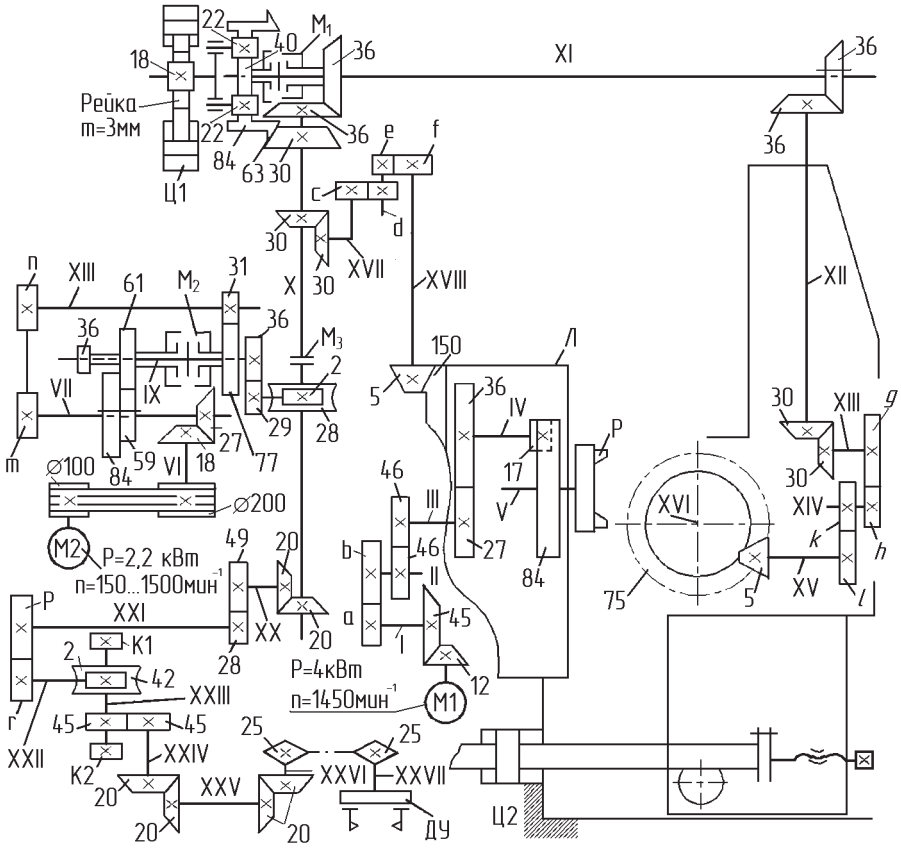


Рис. 13.26. Кинематическая схема зуборезного полуавтомата мод. 5С270П

товки на один зуб с основным вращением в сложном движении формообразования, и поэтому в процессе профилирования участвует более жесткая и короткая кинематическая цепь. Кроме этого, вращение резцовой головки осуществляется от отдельного двигателя.

В соответствии с типовой кинематической структурой получим формулы для настройки станка при обработке конического колеса с дуговым зубом.

Настройка скорости резания в приводе главного движения (i_v на рис. 13.19, *а*):

$$1450 \text{ мин}^{-1} \text{ дв. } M1 \cdot \frac{12}{45} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{46}{46} \cdot \frac{27}{36} \cdot \frac{17}{84} = n_р; \quad \frac{a}{b} = \frac{n_р}{58,7}.$$

Комплект сменных зубчатых колес: 22, 25, 28, 32, 37, 42, 48, 54, 60, 65, 70, 74, 77, 80. Условие сцепляемости: $a + b = 102$.

Настройка цепи деления (по которой во время холостого хода через дифференциал, расположенный на левом конце вала *XI*, заготовке сообщается дополнительный поворот на один зуб).

Включение дифференциала в цепь обката и отключение от нее осуществляются муфтой M_1, соединяющей с валом *XI* либо коническое зубчатое колесо 36

(рабочий ход и дифференциал выведен из цепи обката), либо цилиндрическое зубчатое колесо 40 (холостой ход и дифференциал введен в цепь обката). Независимо от положения муфты M_1 колеса 36 и 40 получают от вала *X* синхронное вращение в одну и ту же сторону: коническое колесо 36 — от такого же колеса на валу *X*, цилиндрическое колесо 40 — через передачи 30/63, 84/22, 22/40. Благодаря этому при введении дифференциала передаточное отношение этого участка цепи обката остается таким же, как и при рабочем ходе.

При делении цилиндр *Ц1* перемещает шток-рейку до упора на такое расстояние, чтобы реечное колесо $Z = 18$ через водило дифференциала сообщило цилиндрическому колесу $Z = 40$ один дополнительный оборот. Этот оборот и является звеном отсчета, аналогичным 1 об. делительного диска на типовой схеме (см. рис. 13.19, *а*). Итак,

$$1 \text{ об. вала } XI \rightarrow \frac{1}{Z_{\text{заг}}} \text{ об. заготовки.}$$

Уравнение кинематического баланса

$$1 \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{g}{h} \cdot \frac{k}{l} \cdot \frac{5}{75} = \frac{1}{Z_{\text{заг}}}; \quad \frac{g}{h} \cdot \frac{k}{l} = \frac{15}{Z_{\text{заг}}}.$$

Настройка цепи обката (имитирует зацепление производящего и нарезаемого колес). Расчетные перемещения

$$1 \text{ об. люльки} \rightarrow \frac{Z_{\text{пл}}}{Z_{\text{заг}}} \text{ об. заготовки.}$$

Уравнение кинематического баланса

$$1 \cdot \frac{150}{5} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{g}{h} \cdot \frac{k}{l} \cdot \frac{5}{75} = \frac{Z_{\text{пл}}}{Z_{\text{заг}}}.$$

С учетом формулы настройки гитары сменных колес *g, h, k, l* находим, что

$$\frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} = \frac{30}{Z_{\text{пл}}}.$$

Комплект сменных зубчатых колес для цепей деления и обката — общий и включает в себя: 30...90, 92... 100, а также 106, 110, 118, 122, 134.

Настройка угла качания θ° люльки ($i_{\text{к.л}}$ на рис. 13.19, *а*).

Отличительной особенностью управления циклом работы полуавтомата является возвратно-поворотное (качательное) движение вала управления *XXIII* (*XXVII)*. Угол качания вала, а также момент реверсирования настраиваются переставными планками на диске управления (вал *XXVII*), которые через бесконтактные выключатели дают команду на реверсирование (переключение муфты M_2) и подвод-отвод стола.

При нарезании колеса методом обката угол качания вала управления обычно принимается равным $\delta_{\text{у}} = 300^{\circ}$.

Итак, расчетными перемещениями при настройке угла качания люльки будут

$$\frac{\delta_y^o}{360^o} \text{ об. вала } XXIII \rightarrow \frac{\theta^o}{360^o} \text{ об. люльки.}$$

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{\delta_y^o}{360^o}\cdot\frac{42}{2}\cdot\frac{r}{p}\cdot\frac{28}{49}\cdot\frac{20}{20}\cdot\frac{30}{30}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{5}{150}=\frac{\theta^o}{360^o} \text{ об. люльки.}$$

С учетом формулы для гитары сменных колес *c, d, e, f* получим

$$\frac{p}{r}=\frac{12}{Z_{пл}}\cdot\frac{\delta_y^o}{\theta^o}.$$

Цикловая подача, с (i_S на рис. 13.20), определяющая продолжительность рабочего хода ($t_{р.х}$) в цикле работы станка, настраивается электродвигателем постоянного тока *M2* ($n_{р.х}$) и гитарой сменных колес *m, n* при включенной вправо муфте M_2.

По аналогии с типовой структурой время $t_{р.х}$ соответствует длительности рабочего качания вала управления *XXIII* на угол δ_y^o или качания люльки на угол θ^o. Если известны угловые скорости (градус/с) люльки при рабочем $\omega_{р.х}$ и холостом $\omega_{х.х}$ ходах, удобнее связать расчетными перемещениями двигатель *M2* с люлькой станка.

Итак, $\frac{n_{р.х}360}{60}$ (^{o}/с) дв. *M2*$\rightarrow \omega_{р.х}$ люльки.

Уравнение кинематического баланса

$$\frac{n_{р.х}360}{60}\cdot\frac{100}{200}\cdot\frac{18}{27}\cdot\frac{m}{n}\cdot\frac{31}{77}\cdot\frac{36}{29}\cdot\frac{2}{28}\cdot\frac{30}{30}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{5}{150}=\omega_{р.х}.$$

С учетом формулы для гитары сменных колес *c, d, e, f* получим

$$n_{р.х}=14Z_{пл}\omega_{р.х}\frac{n}{m}.$$

При возврате люльки в исходное положение ее угловая скорость настраивается двигателем *M2* и подвижным двойным блоком 84/36 (59/61) при включенной влево муфте M_2. Тогда уравнение кинематического баланса будет следующим:

$$\frac{n_{р.х}360}{60}\cdot\frac{100}{200}\cdot\frac{18}{27}\cdot\frac{84}{36}\left(\frac{59}{61}\right)\cdot\frac{36}{29}\cdot\frac{2}{28}\cdot\frac{30}{30}\cdot\frac{c}{d}\cdot\frac{e}{f}\cdot\frac{5}{150}=\omega_{х.х}.$$

С учетом формулы для гитары сменных колес *c, d, e, f* получим: для положения двойного блока 84/36 — $n_{х.х}=5{,}8\,Z_{пл}\,\omega_{х.х}$, а при переключении в положение 59/61 — $n_{х.х}=2{,}4\,Z_{пл}\,\omega_{х.х}$.

Продолжительность цикла работы станка будет

$$t_ц=t_{р.х}+t_{х.х}=\frac{\theta}{\omega_{р.х}}+\frac{\theta}{\omega_{х.х}}.$$

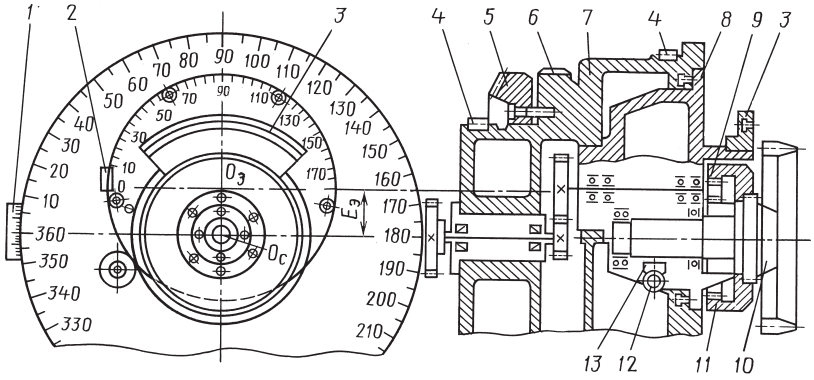


Рис. 13.27. Конструктивная схема люльки

Большой диапазон регулирования привода подачи объясняется широкой универсальностью станка. В частности, на нем можно нарезать колеса комбинированным методом, ведомые колеса полуобкатных пар и т. д. Чтобы люлька при работе станка не поворачивалась, цепь обката останавливают выключением муфты M_3.

Для гитар сменных колес p, r и m, n предусмотрен общий комплект со следующими числами зубьев: 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 (2 шт.), 70 (2 шт.), 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105. Условие сцепляемости колес в гитарах: $p + r = m + n = 135$.

Люлька станка (рис. 13.27) вращается в стойке на роликах *4* круговых направляющих с помощью гипоидной передачи с большой редукцией, колесо *5* которой жестко закреплено на ее корпусе *7*. В корпусе люльки имеется отверстие с эксцентриситетом $E_э$, в котором может поворачиваться и фиксироваться в нужном положении эксцентриковый барабан *8*. В этом барабане также имеется отверстие с эксцентриситетом $E_э$, в котором на прецизионных опорах качения установлен шпиндель зуборезной головки *10* (ось O_c). Вращение шпинделю от привода главного движения передается через шестерню *9* и зубчатый венец *11* с внутренним зубом. Поворот эксцентрикового барабана вокруг своей оси $O_э$ позволяет изменять расстояние между осью люльки и осью резцовой головки в диапазоне от 0 до $2E_э$.

Для получения на плоском воображаемом производящем колесе дугового зуба определенного радиуса с заданным углом спирали β в средней точке зубчатого венца (см. рис. 13.2, *в*) рассчитываются координаты центра резцовой головки, соответствующие моменту середины обката во время рабочего хода станка. В данном станке применена биполярная система координат, в которой положение центра резцовой головки определяется двумя углами:

1) углом установки эксцентрика по шкале *2* с помощью червяка *12*, сцепляющегося с круговой рейкой *13*, закрепленной на барабане;

2) углом установки люльки по шкале *1*. Для этого станок останавливают в момент, когда распределительный вал управления циклом находится в положении, соответствующем середине рабочего хода; расцепляют сменные зубчатые колеса *c, d, e, f* (см. рис. 13.26) и поворачивают люльку в нужное положение. После этого сцеплением колес гитары вновь восстанавливают цепь обката.

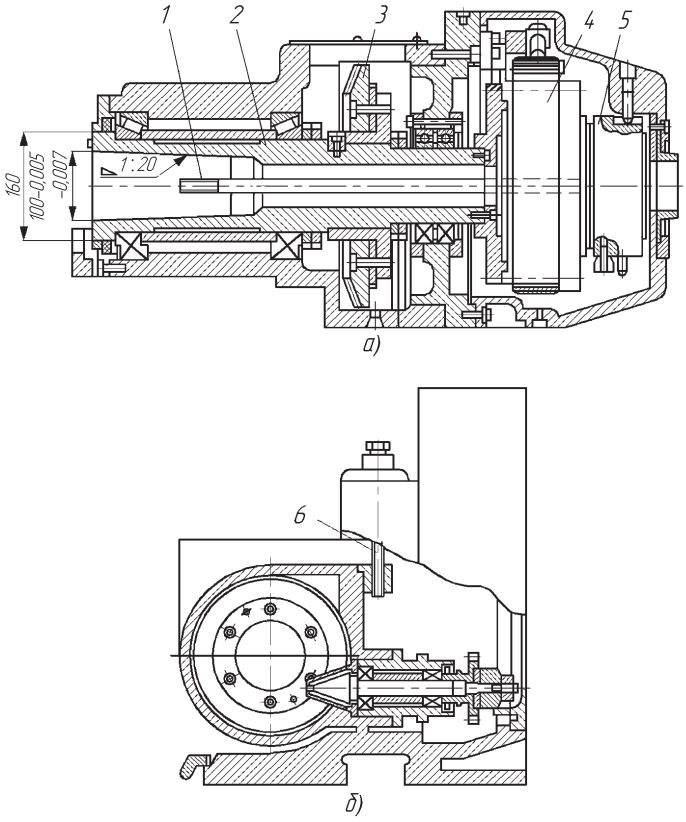


Рис. 13.28. Бабка изделия:
а — разрез по шпинделю; *б* — разрез по ведущей гипоидной шестерне

Ленточный тормоз *6* используют для гашения крутильных колебаний во время рабочего хода станка, а также для выборки зазоров в кинематической цепи при обкате и делении. Для установки калибров при выверке положения резцов зуборезных головок в конструкции люльки предусмотрен кронштейн *3*.

Бабка изделия (рис. 13.28) предназначена для закрепления нарезаемого колеса и установки его в положение зацепления с плоским производящим колесом. Последнее обеспечивается поворотом бабки вместе с основанием вокруг вертикальной оси, проходящей через центр станка (вершину конуса производящего колеса), и перемещением ее вдоль оси шпинделя по направляющим основания (см. рис. 13.21 и 13.25).

Шпиндель изделия *2* установлен в корпусе бабки на прецизионных подшипниках качения, и на нем закреплены ведомое гипоидное колесо *3*, диск гидравлически управляемого ленточного тормоза *4* и цилиндр гидрозажима *5*. Ленточный тормоз применен с той же целью, что и в люльке станка, и при вспомогательном ходе он отключается. Гидрозажим с помощью тяги *1* закрепляет в переднем конце шпинделя оправку с заготовкой. Вертикальное смещение шпинделя изделия при нарезании гипоидных колес осуществляется винтом *6*. При закреплении

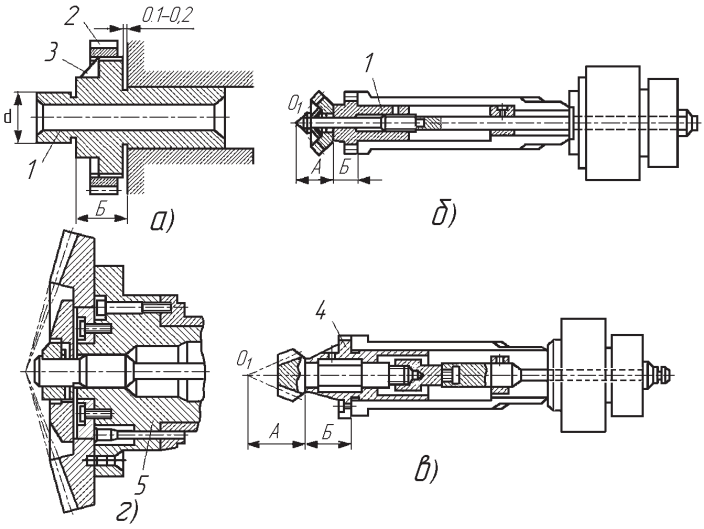


Рис. 13.29. Оправки для закрепления конических колес:
а — универсальная оправка: *1* — оправка; *2* — шлицевая гайка для снятия оправки; *3* — паз для установки калибра разделения припуска; *б—г* — схемы крепления зубчатых колес на универсальной *1* и специальных оправках *4* и *5*

заготовок необходимо обеспечить соосность заготовки и шпинделя и определенное осевое положение заготовки на шпинделе изделия. Это осуществляется с помощью специальных оправок, конструкции которых для различных видов нарезаемых колес показаны на рис. 13.29.

Оправки в шпинделе изделия центрируются по конической поверхности с упором в торец шпинделя. Для обеспечения посадки одновременно на две поверхности необходимо посадочный конус оправки изготовлять с натягом определенной величины. Натяг обусловливается зазором 0,1…0,2 мм, образующимся между торцом шпинделя и опорным торцом оправки при установке ее в шпиндель от руки. Этот зазор затем полностью выбирается силой зажима. Посадка на торец и коническую поверхность увеличивает срок службы оправки и сохраняет точность отверстия в шпинделе станка. Биение оправки при вращении шпинделя должно быть не более 0,005 мм, а биение заготовки, установленной на оправке, не более 0,01 мм. На наружной цилиндрической части оправки должен быть сделан продольный паз в целях ориентирования приспособления для разделения припуска при чистовой обработке колес, а также выгравирован размер бурта оправки *Б* с точностью ±0,005 мм.

В крупносерийном производстве большое распространение получили оправки-приспособления с разжимными центрирующими элементами, сочетающие точное центрирование с быстрой установкой заготовок. Пример такого приспособления для зубчатого колеса со ступицей приведен на рис. 13.30. Базирование и закрепление колеса *1* производят с помощью цанги *2* одновременно за две шейки с упором в торец. При перемещении штока *5* конусная втулка *3* воздействует на цангу *2*, заставляя ее смещаться и закреплять заготовку.

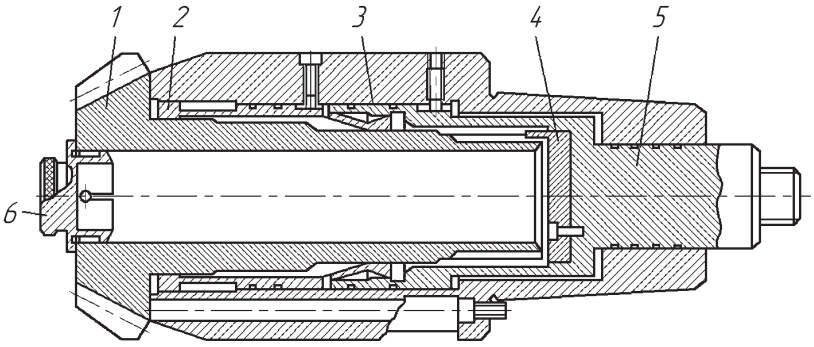


Рис. 13.30. Зажимное приспособление

Для предотвращения поворота заготовки в процессе обработки служит шпонка *4*, которая входит в шлицевые пазы на конце ступицы. Разрезная пробка *6* предохраняет зажимное приспособление от попадания грязи и стружки.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

Затыловочные станки

14.1. Общие сведения. Вопросы формообразования

Затыловочные станки предназначены для затылования задних поверхностей режущих кромок зубьев дисковых фасонных (рис. 14.1, *а*) и модульных (рис. 14.1, *б*) фрез, червячных цилиндрических (рис. 14.1, *в*) и конических (рис. 14.1,*г*) зуборезных фрез, а также резьбовых дисковых и кольцевых многопрофильных фрез, метчиков и плашек в целях сохранения первоначального профиля зубьев и значений задних углов режущих кромок при их переточках по передним поверхностям.

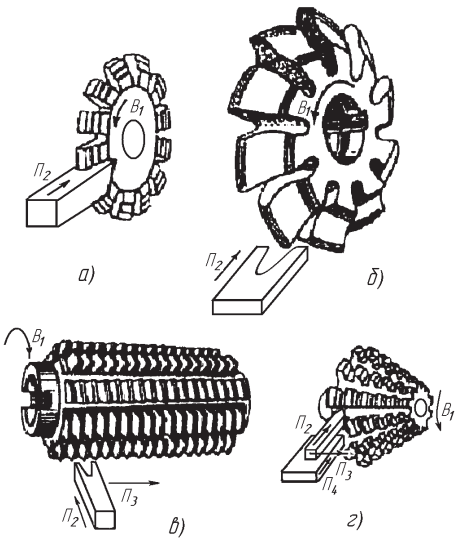


Рис. 14.1. Виды фрез, затылуемых на токарно-затыловочных станках:
а — фасонная дисковая; *б* — модульная дисковая; *в* — червячная цилиндрическая; *г* — червячная коническая

Формообразование задних поверхностей зависит от характера линий, на которых расположены зубья инструмента, и соответственно от линий зубообразующих стружечных канавок, которые должны быть перпендикулярны первым. Если зубья инструмента находятся в одной радиальной плоскости, то зубообразующие канавки прямые и параллельны оси инструмента, а если зубья распола-

гаются на винтовой линии, лежащей на цилиндре или конусе, то и стружечные канавки представляют собой такие же винтовые линии с шагом, на два порядка и более превышающим шаг линии зубьев.

Производящими линиями затылуемых поверхностей являются форма контура режущей кромки зуба, образовавшейся в пересечении со стружечной канавкой, и спираль Архимеда в направлении падения затылка зуба. У инструмента с прямолинейными стружечными канавками эта спираль лежит в радиальной плоскости, а при винтовой стружечной канавке, лежащей на цилиндре или конусе, спираль Архимеда становится пространственной, т.е. «растянутой» вдоль оси от соответствующей винтовой линии.

При затылковании профильными резцами образующая производящая линия будет получена методом копирования, а направляющая — методом следа при одном сложном движении формообразования, соответствующем расположению архимедовой спирали в плоскости — $\Phi_v(B_1\Pi_2)$ (рис. 14.1, *а, б*) или вдоль винтовой линии, лежащей на цилиндрической поверхности — $\Phi_v(B_1\Pi_2\Pi_3)$ (рис. 14.1, *в*) или конической — $\Phi_v(B_1\Pi_2\Pi_3\Pi_4)$ (рис. 14.1, *г*).

При шлифовании затылованных зубьев или при затылковании шлифованием профильным кругом направляющая производящая линия будет получена методом касания при двух движениях формообразования — вращении круга со скоростью резания и перемещении его относительно заготовки со скоростью подачи по архимедовой спирали, лежащей в плоскости или на винтовой линии соответствующего характера.

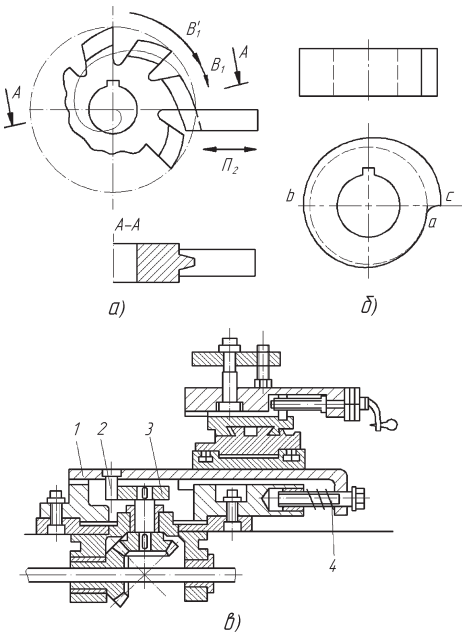


Рис. 14.2. Механизм затылования: *а* — схема затылования; *б* — сменный кулачок; *в* — затыловочный суппорт токарно-затыловочного станка

Кроме формообразующих движений необходимы и движения деления. У инструмента с прямолинейными стружечными канавками движение деления $Д(B_1)$ будет простым и заключаться в повороте шпинделя на определенный угол в целях переноса процесса формообразования с вершины одного зуба на вершину следующего. У инструмента с винтовыми стружечными канавками движение деления будет сложным — $Д(B_1\Pi_2)$ или $Д(B_1\Pi_2\Pi_3)$ в соответствии с расположением вершин зубьев на винтовой линии, лежащей на цилиндрической или конической поверхности.

Компоновка универсальных затыловочных станков аналогична компоновке токарных. Их основной особенностью является наличие кулачкового механизма затылования (рис. 14.2), расположенного в суппорте станка и предназначенного для поперечного возвратно-поступательного перемещения резца Π_2 (рис. 14.2, *а*). Сменный дис-

ковый кулачок (рис. 14.2, *б*) имеет участок *abc*, выполненный по архимедовой спирали, для подвода резца с равномерной подачей и участок *ca* для его быстрого отвода. За один оборот такого кулачка совершается один цикл отвода-подвода резца. Если кулачок имеет несколько, например *k* пар таких участков, размещенных равномерно по окружности, то за один его оборот будет совершено *k* циклов отвода-подвода резца. Силовое замыкание в кулачковом механизме затылования (рис. 14.2, *в*) осуществляет пружина *4*, прижимающая палец *2*, связанный с поперечными салазками *1* с резцедержателем, к кулачку *3*, при вращении которого и реализуются циклы отвода-подвода резца.Технические характеристики затыловочных станков некоторых моделей приведены в табл. 14.1.

14.1. Технические характеристики затыловочных станков

Параметр	Мод. 1810	Мод. 1Е811	Мод. 1Е812	Мод. 1813
Диаметр обрабатываемого изделия, мм, не более	50	250	360	500
Расстояние между центрами, мм, не более	80	530	630	1225
Число скоростей шпинделя	Бесступенчатое	15	15	12
Пределы частоты вращения шпинделя, мин$^{-1}$	3,26…24,4	2,25…56	1,9…47,5	1,36…23
Пределы продольной подачи, мм/об	нет	0,075…1,2	0,075…1,2	0,1…1,0
Число затылуемых зубьев	8…15	1…40	1…40	4…30
Шаг винтовой линии нарезки затылуемого изделия, мм	0,1…0,8	0,5…240	0,5…360	1,5…550
Электродвигатель главного двигателя:				
мощность, кВт	0,5/1,5	4	5,5	7
частота вращения, мин$^{-1}$	710/2720	1500	1500	920
Масса станка, кг	400	2900	3900	10 100

14.2. Кинематические структуры станков

Основу кинематической структуры затыловочного станка составляют группы формообразования и деления, имеющие, как уже отмечалось, разную сложность при затылковании инструмента с прямолинейными и винтовыми стружечными канавками. Эти группы всегда имеют общий двигатель и от одной до трех исполнительных кинематических пар и, следовательно, должны быть соединены каким-то способом между собой (см. т. 1, гл. 3). В затыловочных станках соединение этих групп осуществляется смешанным способом, сущность которого рассмотрим на примере затылования профильным резцом дисковой фрезы, когда группы формообразования и деления имеют общие двигатель и рабочий орган — шпиндель станка.

Вращение шпинделя можно рассматривать как непрерывное следование делительных циклов $Д(B_1)$, осуществляющих поворот заготовки (затылуемой фрезы с числом зубьев Z) на $1/Z$ часть оборота (рис. 14.2, *а*), в начале которых согла-

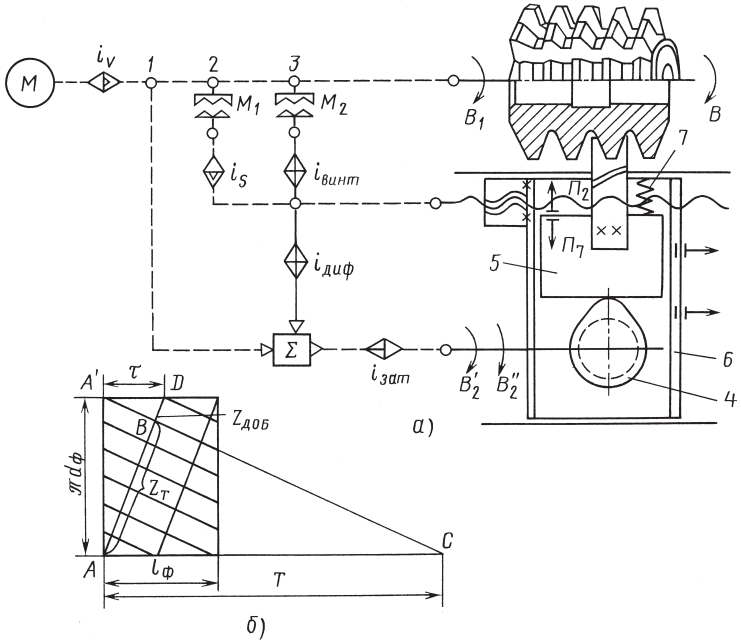


Рис. 14.3. Развертка цилиндрической червячной фрезы

сованное с вращением поперечное перемещение резца от кулачка обеспечивает параллельную работу и группы формообразования $\Phi_v(B'_1П_2)$ до тех пор, пока кулачковый механизм не завершит подвод резца. В момент реверсирования движения $П_2$ группа формообразования прекращает свою работу, а группа деления продолжает ее и при быстром отводе, т.е. до начала следующего цикла. Такое чередование работы групп принято называть параллельно-последовательным или смешанным, как и способ соединения, а признаком его реализации — наличие реверсирующего устройства во внутренней связи группы формообразования. В нашем примере реверсирование осуществляет кулачок, который одновременно выполняет и еще две очень важные функции.

Он является органом настройки на траекторию в группе формообразования $\Phi_v(B'_1П_2)$, так как перепад радиусов на участке *авс* архимедовой спирали кулачка (рис. 14.2, *б*) должен соответствовать перепаду аналогичных радиусов на затылуемой поверхности, и, кроме того, звеном отсчета при настройке деления $Д(B_1)$, так как за его один оборот затылуемая фреза должна повернуться на $1/Z$ часть оборота или за 1 оборот последней кулачок должен совершить Z оборотов.

При затылковании профильным резцом червячной фрезы группы формообразования и деления имеют общие шпиндель станка и продольные салазки суппорта, и их соединение осуществляется также смешанным способом, что отражено и в условной записи групп $\Phi_v(B'_1П_2B'_3)$ и $Д(B_1П_3)$. Частная кинематическая структура, реализующая процесс затылования червячной фрезы, показана на рис. 14.4, *а,* в который для затылования дисковой фрезы движение продольных салазок должно быть остановлено разрывом связи между точкой *1* и ходовым винтом.

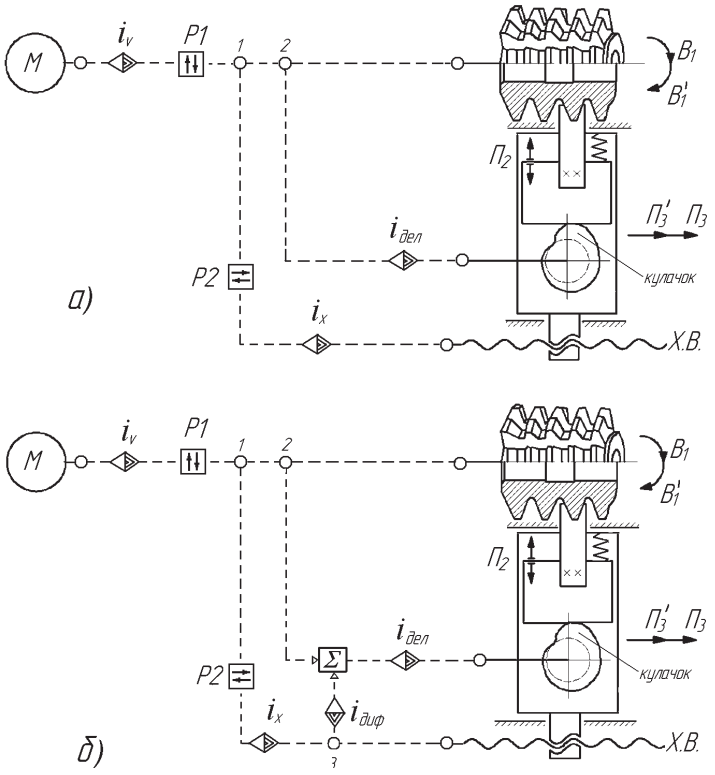


Рис. 14.4. Кинематические структуры универсальных затыловочных станков: без суммирующего (*а*), с суммирующим механизмом (*б*)

Как и в первом случае, движение инструмента по винтовой линии при затылковании цилиндрической червячной фрезы можно рассматривать как непрерывное следование делительных циклов, и, как следует из развертки фрезы на рис. 14.3, *б*, их количество на одном витке выражается дробным числом. Участок *AB* винтовой линии с шагом τ соответствует части оборота фрезы, на котором кулачок совершает $Z_т$ полных оборотов, равное числу стружечных канавок фрезы или количеству зубьев на ее торце. Оставшийся участок *BD* винтовой линии можно выразить частью оборота кулачка $Z_{доб}$ из подобия прямоугольных треугольников *A'BD* и *ABC* со стороной *AC*, равной шагу *T* винтовой линии стружечной канавки, а именно: $Z_{доб} = Z_т(\tau/T)$. Таким образом, за 1 оборот червячной фрезы кулачок должен совершить $Z = Z_т(1 + \tau/T)$ оборотов, а если он имеет *k* пар участков подвода-отвода резца, то последнее выражение следует представить в виде $Z = (Z_т/k)(1 + \tau/T)$.

Внутренняя связь группы $Ф_v(B'_1 П_2 П_3')$ (рис. 14.4, *а*) включает в себя две кинематические цепи: винторезную: B_1'—*2*—*1*—P_2—$i_х$—$П_3'$ и цепь затылования, которую принято называть делительной: B_1—*2*—$i_{дел}$—$П_2$. Передача ходовой винт—гайка и кулачковый механизм преобразуют вращательные движения винта и кулачка в поступательные перемещения продольных и поперечных салазок. Внешняя связь группы: *M*—i_v—P_1—*1* (звено присоединения связей).

Внутренняя и внешняя связи группы деления $Д(B_1П_3)$ совпадают соответственно с винторезной цепью и внешней связью группы формообразования.

При кинематической настройке станка органами $i_х$, $i_{дел}$ и i_v расчетными перемещениями конечных звеньев соответствующих расчетных цепей будут

$i_х$ — 1 об. заготовки $\rightarrow \tau$, мм, продольного перемещения суппорта;

$i_{дел}$ — 1 об. заготовки $\rightarrow (Z_т/k)(1+\tau/T)$ об. кулачка;

i_v — n, мин$^{-1}$, двигателя $\rightarrow n$, мин$^{-1}$, заготовки.

Для универсальных станков зависимость $i_{дел}$ от трех параметров $Z_т$, τ и T представляет определенные неудобства при их наладке. В таких станках делительную цепь разделяют на две цепи и вводят суммирующий механизм (дифференциал) (рис. 14.4, *б*), осуществляющий механическое сложение двух составляющих — $Z_т$ и $Z_т$ (τ/T), причем дополнительную цепь, называемую дифференциальной с органом настройки $i_{диф}$, организуют так, чтобы в ее состав вошли и органы $i_х$ и $i_{дел}$ (B_1—2—1—P_2—$i_х$—3—$i_{диф}$—Σ—$i_{дел}$—кулачок), благодаря чему каждый из них становится зависимым только от одного параметра (или настраивает один параметр): $i_{дел}=f(Z_т)$ и $i_{диф}=f(T)$ при соответствующих расчетных перемещениях конечных звеньев:

$i_{дел}$ — 1 об. заготовки $\rightarrow Z_т$ (или $Z_т/k$) об. кулачка;

$i_{диф}$ — 1 об. заготовки $\rightarrow Z_т \dfrac{\tau}{T}$ (или $Z_т\,\tau/kT$) об. кулачка.

14.3. Кинематическая настройка затыловочного станка мод. 1Е811

Станок предназначен для затылования инструмента с прямыми и винтовыми стружечными канавками с шагом от 100 до 48 000 мм и наибольшим поперечным перемещением резца при затыловании — 20 мм. Его основные технические характеристики приведены в табл. 14.1, а кинематическая схема — на рис. 14.5, и соответствует типовой дифференциальной структуре (рис. 14.4, *б*). Приведем кинематическую настройку станка при затылования червячной фрезы, включающую в себя наладку всех органов настройки, показанных на рис. 14.4,*б*.

Траектория сложного движения формообразования $Ф_v(B_1'П_2П_3')$ настраивается во внутренней связи этой группы сменными колесами гитар $i_х$ и $i_{диф}$, а также сменным кулачком и реверсом P_2. Формулы для расчета передаточных отношений гитар определяются в известной последовательности: расчетные перемещения (РП) конечных звеньев расчетной цепи — уравнение кинематического баланса (УКБ) — формула настройки.

Винторезная цепь с гитарой $i_х$.

РП: 1 об. заготовки $\rightarrow \tau$, мм, продольного перемещения суппорта.

$$УКБ:\ 1\cdot i_1\cdot\frac{60}{60}\cdot\frac{60}{60}\cdot i_х\cdot 12=\tau,\ \text{отсюда}\ i_х=\tau/12\,i_1,$$

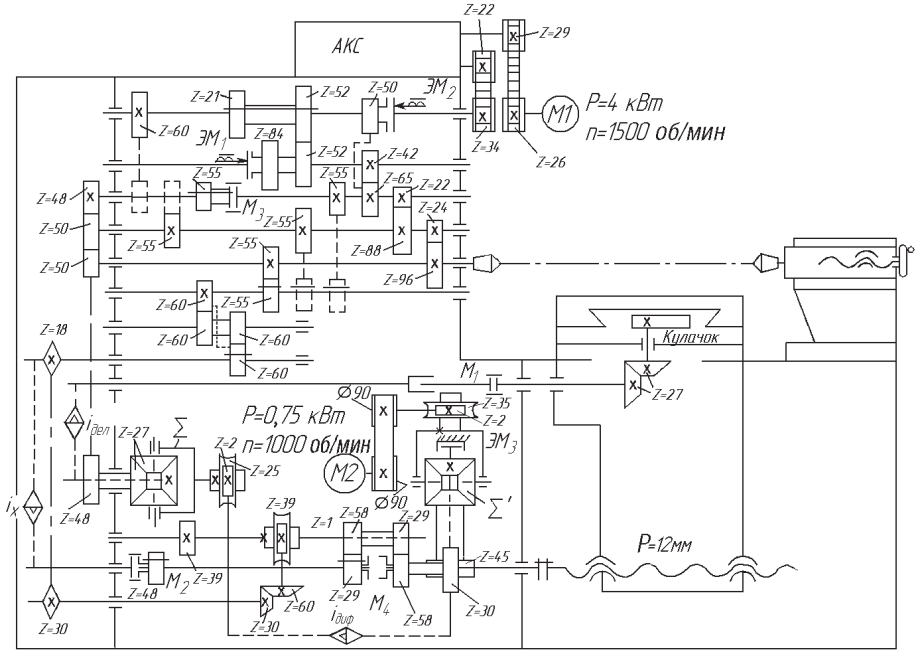


Рис. 14.5. Кинематическая схема универсального токарно-затыловочного станка мод. 1Е811

где i_1 — передаточное отношение участка цепи между шпинделем и первым из колес $Z = 60$, устанавливаемое смещением колеса $Z = 55$ (на схеме два других его положения показаны штриховой линией) в зависимости от соотношения шагов червячной нарезки затылуемой фрезы и ходового винта станка. Это отношение может иметь три значения:

$$i_1 = \frac{55}{55} = 1; \quad i_1 = \frac{96}{24} \cdot \frac{55}{55} = 4 \text{ и } i_1 = \frac{96}{24} \cdot \frac{88}{22} \cdot \frac{55}{55} = 16.$$

Смещением подвижного колеса $Z = 60$ на ведущем валу гитары i_x двухпарная передача из одинаковых колес с $Z = 60$ заменяется однопарной (см. пунктирную линию), и тем самым осуществляется реверсирование направления вращения ходового винта (реверс P_2 на рис. 14.4, *б*) в соответствии с направлением винтовой линии червячной нарезки заготовки.

Цепь деления с гитарой $i_{\text{дел}}$.

$$\text{РП:} \quad 1 \text{ об. заготовки} \rightarrow Z_{\text{т}} \text{ об. кулачка} \left(\text{или} \frac{Z_{\text{т}}}{k} \right).$$

$$\text{УКБ:} \quad 1 \cdot \frac{96}{24} \cdot i_2 \cdot \frac{48}{50} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{50}{48} \cdot i_{\Sigma} \cdot i_{\text{дел}} \cdot \frac{27}{27} = Z_{\text{т}} \left(\text{или } \frac{Z_{\text{т}}}{k} \right),$$

где i_2 — передаточное отношение участка цепи при выключенном или включен-

ном положении муфты M_3, соответственно $i_2 = 55/55 = 1$ или $i_2 = 88/22 = 4$ и выбирается в зависимости от числа стружечных канавок у затылуемой фрезы.

Таким образом, $i_{дел} = \dfrac{Z_т}{4i_2}$ $\left(\text{или } i_{дел} = \dfrac{Z_т}{4i_2 k}\right)$.

Дифференциальная цепь с гитарой $i_{диф}$.

$$\text{РП: } 1 \text{ об. заготовки} \to Z_т \frac{\tau}{T} \text{ об. кулачка } \left(\text{или } \frac{Z_т \tau}{kT}\right).$$

$$\text{УКБ: } 1 \cdot i_1 \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{60}{60} \cdot i_х \cdot i_3 \cdot \frac{30}{45} \cdot i_{\Sigma'} \cdot i_{диф} \cdot \frac{2}{25} \cdot i_\Sigma \cdot i_{дел} \cdot \frac{27}{27} = Z_т \frac{\tau}{T} \left(\text{или } \frac{Z_т \tau}{kT}\right),$$

где i_3 — передаточное отношение участка цепи с перебором при включенном или выключенном положении муфты M_4 соответственно

$$i_3 = 1, \text{ или } i_3 = \frac{29}{58} \cdot \frac{29}{58} = \frac{1}{4},$$

где $i_{\Sigma'} = 1$ и $i_\Sigma = 2$ — передаточные отношения дифференциалов Σ' и Σ соответственно с центрального конического колеса на центральное и с корпуса дифференциала на центральное (правое) коническое колесо.

Заменив в уравнении $i_х$ и $i_{дел}$ их формулами, получим

$$i_{дел} = \frac{450 i_2}{T i_3};$$

в зависимости от принятых значений i_2 и i_3 передаточное отношение гитары $i_{диф}$ определяется одним из выражений $i_{диф} = 450/T$; $i_{диф} = 1800/T$ или $i_{диф} = 7200/T$.

Скорость движения формообразования, определяемая частотой вращения заготовки, регулируется автоматической коробкой скоростей (АКС) и двойным блоком в шпиндельной бабке, обеспечивая 15 ступеней частот в диапазоне от 2,25 до 56 мин$^{-1}$. При этом муфта *ЭМ1* включена, а муфта *ЭМ2* выключена. Реверсирование направления вращения шпинделя осуществляется переключением этих муфт на обратный режим работы. При быстром обратном ходе муфта M_1 прерывает вращение кулачка, останавливая его в положении, соответствующем максимальному отводу суппорта от заготовки, т.е. в начале цикла подвода-отвода резца.

Настройка исходного положения движения формообразования должна обеспечить соответствие угловых положений затылуемой фрезы и кулачка, при которых в момент начала процесса затылования резец находится на вершине затылуемого зуба при совпадении осей симметрии их профилей. Обе эти настройки осуществляются включением двигателя *М2* в толчковом режиме, сообщающим через корпус дифференциала Σ' либо дополнительный поворот кулачку по цепи

$$M2 \cdot \frac{90}{90} \cdot \frac{2}{35} \cdot (i_{\Sigma'} = 2) \cdot i_{диф} \cdot \frac{2}{25} \cdot (i_\Sigma = 2) \cdot i_{дел} \cdot \frac{27}{27} \text{ — кулачок,}$$

либо поворот ходовому винту. В последнем случае муфта M_2 должна быть выключена и находиться в нейтральном положении, муфта M_4, наоборот, включена, а верхнее коническое колесо дифференциала Σ′ заторможено. Вращение винту будет передаваться по цепи

$$M2-\frac{90}{90}\cdot\frac{2}{35}\cdot(i_{\Sigma}=2)\cdot\frac{45}{30}\ \text{— ходовой винт.}$$

В заключение отметим, что при затылковании иногда требуется за один установ заготовки произвести некоторые токарные операции, такие, как проточка контрольных шеек на червячной фрезе и т. п. Для этого необходимо отключить цепь деления установкой в нейтральное положение муфты M_3, отсоединить гитару i_x от ходового винта выключением муфты M_2 и переместить ее вправо до сцепления колеса $Z = 48$ с шестерней $Z = 39$. При этом настройка продольной подачи суппорта на один оборот заготовки ограничена возможностями расчетной цепи шпиндель—суппорт и определяется уравнением:

$$1\cdot i_1\cdot\frac{60}{60}\cdot\frac{60}{60}\cdot\frac{18}{30}\cdot\frac{30}{60}\cdot\frac{1}{39}\cdot\frac{39}{48}\cdot 12=S.$$

При $i_1 = 1$; 4 и 16 значение $S = 0{,}075$; 0,3 и 1,2 мм/об.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

Заточные станки

15.1. Типы заточных станков

Заточные станки предназначены для заточки и доводки как нового, так и затупившегося инструмента и подразделяются на две группы:

• для абразивной обработки, работающие абразивными шлифовальными и алмазными кругами;

• для электроэрозионной (безабразивной) обработки — электроискровые и анодно-механические станки.

Основной парк заточных станков составляют станки первой группы.

По целевому назначению заточные станки подразделяются на универсальные, специализированные и специальные. *На универсальных станках* можно затачивать инструмент различных видов: резцы, развертки, зенкеры, фрезы, зуборезный инструмент и др., для установки и закрепления которых эти станки оснащаются приспособлениями (показаны на рис. 15.3).

Специализированные станки предназначены для заточки и доводки однотипного инструмента, например, многолезвийного с прямыми и винтовыми стружечными канавками. К *специальным станкам* относятся станки для заточки и доводки инструмента одного вида — сверл, резцов, протяжек и др.

15.2. Универсально-заточные станки

Технические характеристики некоторых моделей станков этого типа приведены в табл. 15.1. На рис. 15.1 и 15.2 представлены общий вид станка мод. 3В642 и кинематическая схема станка мод. 3Е642. Шлифовальная головка *10* с двигателем *М1* для вращения круга *11* может быть повернута вокруг горизонтальной оси относительно корпуса шлифовальной бабки *7*, которая, в свою очередь, может быть повернута вместе с плитой *6* вокруг вертикальной оси колонны *4*. Этими поворотами настраивается требуемый угол наклона круга относительно затачиваемого инструмента.

Колонна *4* вместе с установленными на ней узлами может подниматься и опускаться от двигателя *М2* (ускоренный ход) вращением гайки при неподвижном винте или вручную вращением винта при остановленной гайке. В последнем случае оно осуществляется от маховичка *8* через коническую передачу 20/53 в консоли *9*, две пары зубчатых колес 37/23 и 23/37 в бабке *7* и передачу с внутренним зацеплением 20/75 в плите *6*.

15.1. Технические характеристики универсально-заточных станков

Параметр	Мод. 3644	Мод. 3М641	Мод. 3Е642	Мод. В3-215Ф4
Класс точности	В	П	П	В
Диаметр обрабатываемого инструмента (в центрах), мм, не более	65	160	250	250
Длина обрабатываемого инструмента (в центрах), мм, не более	160	400	630	800
Размеры рабочей поверхности стола, мм	—	100×630	140×900	140×900
Угол поворота стола, °	±90	±60	±45	±45
Диаметр устанавливаемого шлифовального круга, мм, не более	100	200	200	250
Пределы частот вращения шлифовального шпинделя (круга), $мин^{-1}$, и их регулирование	2780…7750 (2 ступени)	2240…9000 (бесступенчатое)	2200…6400 (4 ступени)	2240…6300 (4 ступени)
Мощность привода шлифовального круга, кВт	0,37/0,55	0,75/1,1	1,1/1,5	2,2/1,5
Габариты станка, мм	700×850×1530	1375×1260×1540	1745×1940×1550	4100×3100×2700
Масса станка, кг	600	880	1200	4500

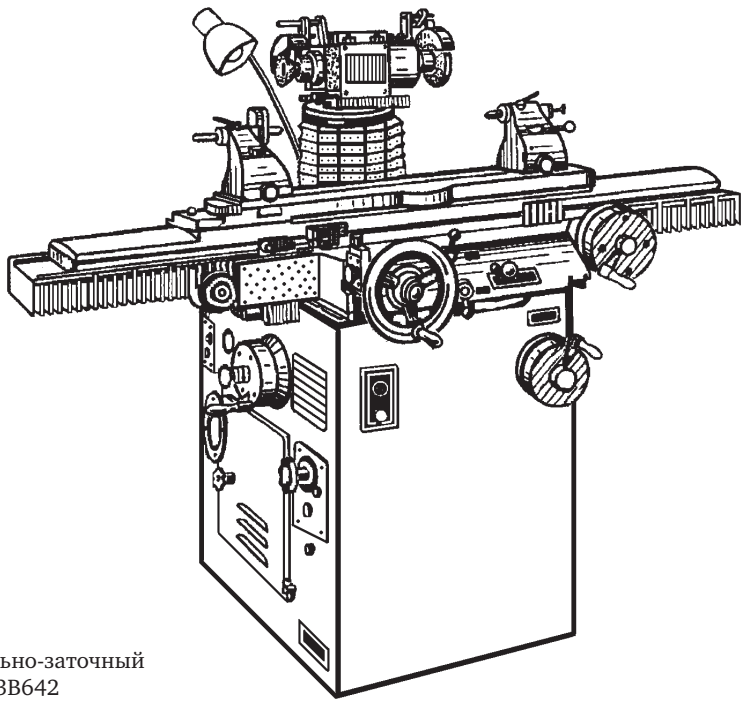


Рис. 15.1. Универсально-заточный станок мод. 3В642

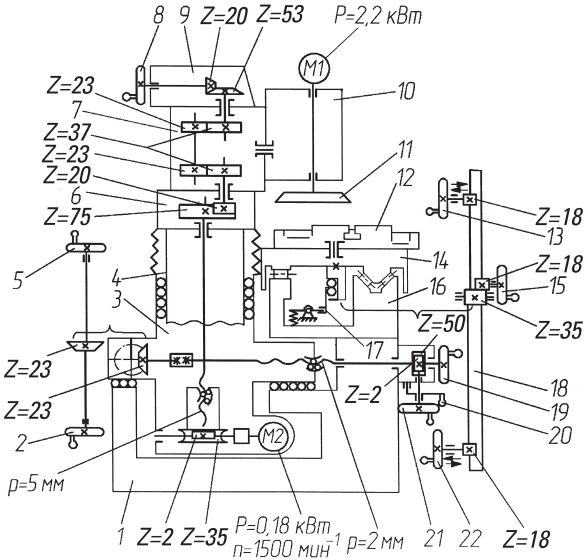


Рис. 15.2. Кинематичекая схема универсально-заточного станка мод. 3Е642

Поперечные салазки *3*, на которых установлена колонна *4*, перемещаются вручную передачей винт—гайка качения с шагом 2 мм по направляющим качения станины *1*. При грубой подаче винт приводится во вращение маховичками *2*, *5* или *19*, а при тонкой подаче — маховичком *21* с предварительным введением в зацепление двухзаходного червяка с червячным колесом $Z = 50$. Включение и выключение механизма тонкой подачи производятся рычагом *20* путем поворота эксцентричной втулки, в которой смонтирован червяк с маховичком *21*. Цена одного деления лимбов, по которым ведется отсчет вертикального перемещения круга, составляет 0,005 мм, а тонкой поперечной подачи — 0,001 мм.

Затачиваемый инструмент крепится в соответствующем приспособлении (см. рис. 15.3), установленном на поворотном столе *12*, который перемещается в продольном направлении вместе с салазками *14* по направляющим качения основания *16*, жестко связанного со станиной станка. Для продольного перемещения стола на салазках *14* закреплена рейка *18*, с которой сцепляются два колеса с $Z = 18$ и одно с $Z = 35$, приводимые во вращение маховичками *13*, *15* и *22*.

Для предотвращения возможного раскрытия незамкнутых направляющих качения под действием сил в зоне резания в дополнение к массе перемещаемых стола и салазок предусмотрен механизм замыкания *17*, включающий в себя пружину, рычаг и подшипник качения, через который к салазкам прикладывается дополнительная вертикальная нагрузка.

В комплект принадлежностей к универсально-заточным станкам входят наборы центров, переходных втулок, оправок, поводков, хомутиков, разнообразных приспособлений и устройств для установки и закрепления затачиваемого инструмента.

Большая универсальная бабка (головка) (рис. 15.3, *а*) применяется для затачивания передних и задних поверхностей торцовых и диаметральных пря-

мых, наклонных и винтовых режущих кромок хвостового и насадного инструмента (фрез, зенкеров). Установленный в шпинделе бабки инструмент может поворачиваться вокруг своей оси на любой угол в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Заточка многолезвийного инструмента, закрепленного в универсальной бабке, может производиться с использованием универсальной упорки или делительного механизма, имеющего диск с 24 пазами. Бабка состоит из плиты *1*, поворотного угольника-кронштейна *2* и корпуса *3* со шпинделем.

Малая универсальная бабка (головка) (рис. 15.3, *б*) отличается широкими возможностями установки затачиваемого инструмента, так как она позволяет инструменту поворачиваться не только вокруг своей оси, но и вокруг еще трех осей. Заточка инструмента может производиться с делением по упорке или по делительному диску, работающему аналогично храповому механизму. Малая бабка состоит из плиты *1*, поворотного кронштейна *2*, промежуточного кронштейна *3* и корпуса *4* шпиндельной головки с делительным диском.

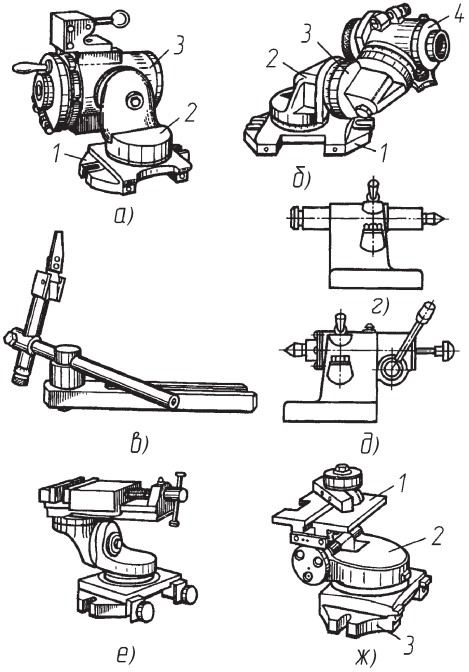


Рис. 15.3. Основные приспособления к универсально-заточным станкам: *а* — большая универсальная головка (бабка); *б* — малая универсальная головка (бабка); *в* — универсальная упорка; *г* — передняя центровая бабка; *д* — задняя центровая бабка; *е* — универсальные тиски; *ж* — подручник

Универсальная упорка (рис. 15.3, *в*) предназначена для ориентации и фиксирования затачиваемого многолезвийного инструмента с прямыми и винтовыми зубьями по отношению к шлифовальному кругу, а также для деления при переходе к заточке следующего зуба и обеспечения постоянства положения инструмента в процессе заточки.

Передняя (рис. 15.3, *г*) *и задняя* (рис. 15.3, *д*) *центровые бабки* используются для установки и закрепления в центрах хвостового инструмента или с помощью центровых оправок насадного инструмента. Они обеспечивают заточку передних и задних поверхностей прямых, наклонных и винтовых зубьев, расположенных на периферии такого инструмента как зенкеры, развертки, цилиндрические, концевые и торцовые фрезы, метчики.

Универсальные трехповоротные тиски (рис. 15.3, *е*) предназначены для заточки резцов, плоских протяжек для наружного протягивания и другого аналогичного инструмента.

Подручник (рис. 15.3, *ж*) используется в качестве опоры при затачивании вручную различных типов резцов, дисковых пил и им подобного инструмента. Стол *1* подручника может поворачиваться вокруг горизонтальной оси на 30° относительно шарнирного кронштейна *2* и вокруг вертикальной оси на 360° со-

вместно с кронштейном относительно плиты *3*. Опорная планка на столе может поворачиваться и закрепляться под любым углом, отсчитываемым по соответствующей шкале.

15.3. Основные схемы заточки наиболее распространенного режущего инструмента на универсально-заточных станках

На рис. 15.4 приведены некоторые схемы и разновидности процесса заточки резцов. Обычно резцы затачивают вначале по задним, а затем по передним поверхностям.

Спиральные сверла затачивают по задним поверхностям торцовой поверхностью или периферией плоского шлифовального круга, используя плоскостной, конический или винтовой способы заточки и обеспечивая тем самым получение задней поверхности у сверла в форме плоскости, конической или винтовой поверхности.

На рис. 15.5 представлена схема движения при формообразовании задней поверхности у сверла методом винтовой заточки.

Заточку зенкеров и разверток по передним и задним поверхностям зубьев калибрующей (цилиндрической) части осуществляют в центрах центровых бабок. Переднюю поверхность прямого зуба зенкера или развертки затачивают торцовой поверхностью тарельчатого круга (рис. 15.6, *а*), а винтового зуба — конической поверхностью круга (рис. 15.6, *б*). Заточку задних поверхностей на калибрующей части выполняют торцовой поверхностью чашечного круга (рис. 15.6, *в*) или периферией плоского круга (рис. 15.6, *г*).

При этом используют упорку, которая при заточке прямых зубьев крепится

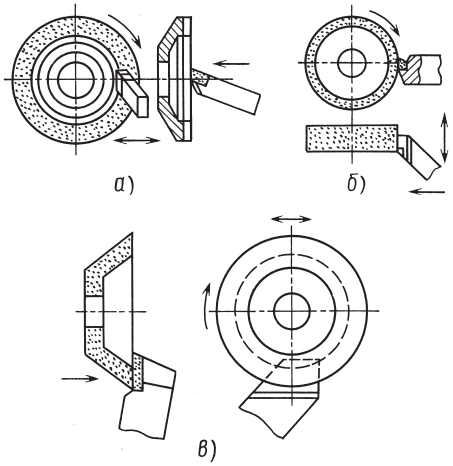


Рис. 15.4. Схема заточки резцов: *а* — по задним поверхностям торцом шлифовального круга; *б* — по задним поверхностям периферией круга; *в* — по передним поверхностям торцом круга

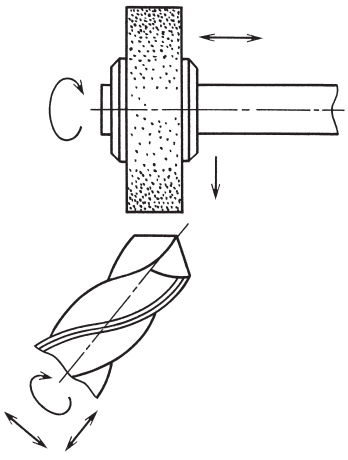


Рис. 15.5. Схема заточки задней поверхности сверла методом винтовой заточки

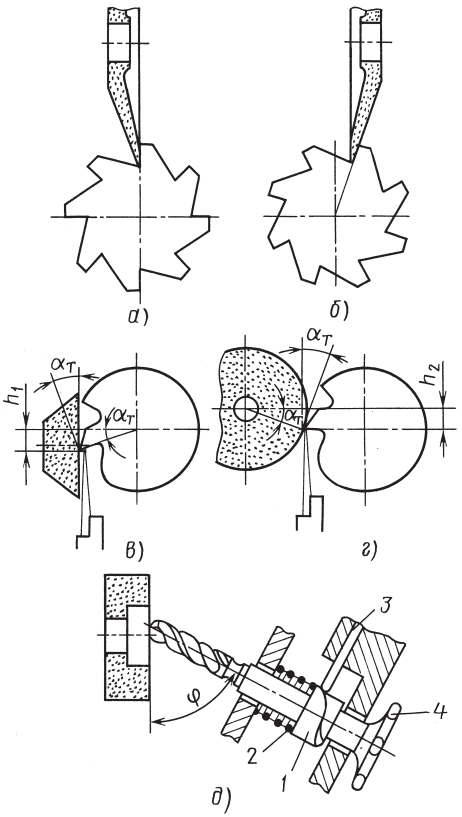


Рис. 15.6. Схема заточки поверхности зубьев на развертках и зенкерах:
а — передних поверхностей у инструментов с прямыми зубьями торцовой поверхностью тарельчатого круга; *б* — передних поверхностей у инструментов с винтовыми или косыми зубьями конической поверхностью тарельчатого круга; *в* — задних поверхностей на калибрующей части инструмента торцовой поверхностью чашечного круга; *г* — задних поверхностей на калибрующей части инструмента периферией плоского круга; *д* — задних поверхностей на режущей (заборной) части зенкера методом винтовой заточки; $\alpha_т$ — задний угол в торцовом сечении; h_1 — величина установки вершины зуба относительно оси затачиваемого инструмента по схеме *в*; h_2 — смещение оси круга относительно оси затачиваемого инструмента по схеме *г*; φ — главный угол в плане

на столе, а винтовых — на шлифовальной головке, чтобы при перемещении стола инструмент, опираясь на упорку, поворачивался и совершал относительно шлифовального круга винтовое движение. При заточке зубьев развертки на режущей конусной части стол станка поворачивают вокруг вертикальной оси на соответствующий угол.

Заточка задних поверхностей зубьев режущей части зенкера аналогична заточке сверл. На рис. 15.6, *д* представлена схема приспособления для винтовой заточки задних поверхностей зубьев режущей части зенкера. Зенкер устанавливается в гнезде барабанного кулачка *1*, с рабочей винтовой поверхностью которого в постоянном контакте (под действием пружины *2*) находится упор *3*, и поворотом маховичка *4* зенкеру сообщается относительно шлифовального круга формообразующее винтовое движение.

Заточка цилиндрических, концевых, торцовых и дисковых фрез осуществляется на универсально-заточных станках с использованием центровых бабок и универсальных или специальных головок в сочетании с универсальной упоркой или делительным механизмом.

Переднюю поверхность зубьев, расположенных на цилиндрической части фрезы, затачивают тарельчатыми кругами с установкой их относительно оси фрезы с учетом величины переднего угла γ и угла наклона ω затачиваемых зубьев, а также рабочей поверхности шлифовального круга. Переднюю поверхность прямых зубьев ($\omega = 0$) затачивают торцовой (рис. 15.7, *а, б*) или конической (рис. 15.7, *в*) поверхностью тарельчатого круга при продольном движении стола. Фиксация положения затачиваемых зубьев производится с помощью делительного механизма или универсальной упорки, закрепленной на столе станка

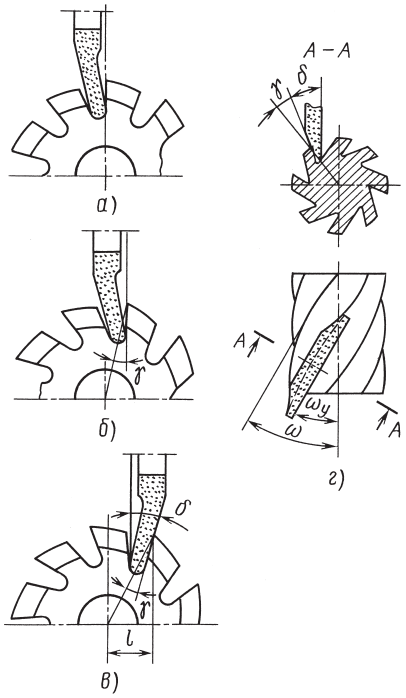


Рис. 15.7. Схема заточки передних поверхностей у зубьев фрез:
а, б — торцовой поверхностью тарельчатого круга у фрез с прямыми зубьями; *в* — конической поверхностью тарельчатого круга у фрез с прямыми зубьями; *г* — конической поверхностью тарельчатого круга у фрез с винтовыми зубьями; γ — передний угол; δ — угол профиля тарельчатого круга; ω — угол наклона винтового зуба; $\omega_у$ — угол установки шлифовальной головки круга при заточке передних поверхностей винтовых зубьев у фрез относительно их оси; l — смещение наиболее удаленной точки профиля затачиваемого зуба относительно оси фрезы при заточке конической поверхности круга

и упирающейся в заднюю поверхность затачиваемого зуба. Заточку передних поверхностей винтовых зубьев ($\omega \neq 0$) осуществляют конической (рис. 15.7, *г*) поверхностью тарельчатого круга. Заточка производится при продольном перемещении стола с поворотом фрезы для получения режущей кромки затачиваемых зубьев по винтовой линии.

Заточку задних поверхностей зубьев, расположенных на цилиндрической части фрезы, осуществляют только у фрез с острозаточенными зубьями. Заточку задних поверхностей у прямых зубьев производят либо торцом чашечного конического круга (рис. 15.8, *а*) с небольшим разворотом его оси в горизонтальной плоскости на угол 1...20° (на рис. 15.8, *а* не показано) в целях устранения подреза зуба и уменьшения площади касания круга с затачиваемой поверхностью, либо периферией цилиндрических кругов при перпендикулярном (рис. 15.8, *б*) или параллельном (рис. 15.8, *в*) расположении осей круга и фрезы.

Заточку задних поверхностей винтовых зубьев осуществляют торцом чашечного круга, повернутого вместе с шлифовальной головкой по отношению к оси фрезы (рис. 15.8, *г*) на угол θ, зависящий от угла наклона зубьев ω и их заднего угла α. Установка величины заднего угла α затачиваемых зубьев и их фиксирование в процессе заточки осуществляются универсальной упоркой, в которую упирается передняя поверхность затачиваемого зуба (рис. 15.8, *д*). При заточке прямых зубьев упорка устанавливается на столе и перемещается вместе с ним, а при заточке винтовых зубьев упорка закрепляется на неподвижном корпусе шлифовальной головки.

Заточка сборных торцовых фрез (фрезерных головок) с зубьями, выполненными в виде вставных ножей и пластин, осуществляется в два этапа. Ножи и пластины затачиваются по передним поверхностям, как правило, до их установки в корпусе фрезы. Задние поверхности зубьев и фаски на их передних поверхностях затачивают уже после сборки фрезы. Фрезу (фрезерную головку) на оправке устанавливают и закрепляют в гнезде универсальной головки, и заточку зубьев (рис. 15.9) осуществляют обычно торцовой поверхностью чашечного круга

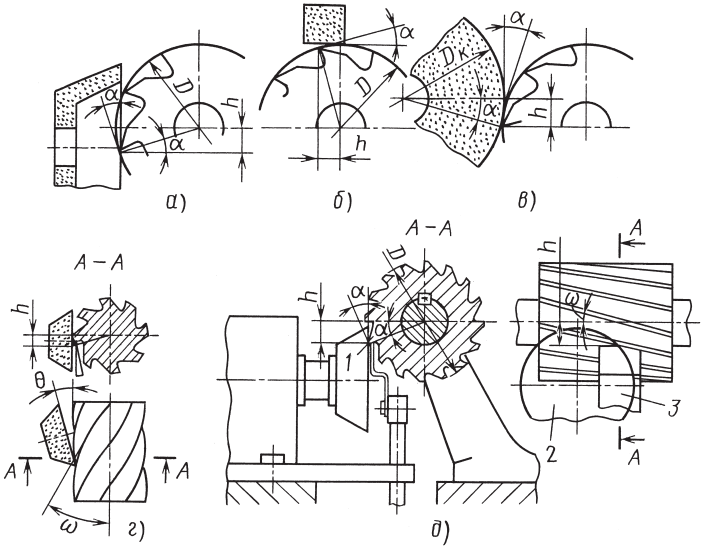


Рис. 15.8. Схемы заточки задних поверхностей у зубьев фрез:
а, б, в — фрез с прямыми зубьями торцом чашечного круга (*а*), периферией плоского цилиндрического круга при перпендикулярном (*б*) и параллельном (*в*) расположении осей круга и фрезы; *г* — фрез с винтовыми зубьями торцом чашечного круга; *д* — схема установки величины заднего угла α с помощью универсальной упорки; *1* — вершина затачиваемого зуба; *2* — контур шлифовального круга; *3* — универсальная упорка; α — задний угол; *h* — смещение вершины затачиваемого зуба относительно осевой горизонтальной плоскости фрезы (*а, г, д*), относительно осевой вертикальной плоскости фрезы (*б*) и относительно оси шлифовального круга (*в*); ω — угол наклона винтовой линии зубьев фрезы; θ — угол поворота чашечного круга; D — диаметр фрезы; $D_к$ — диаметр шлифовального круга

с использованием упорки, взаимодействующей с передней поверхностью затачиваемого зуба. Совмещение затачиваемой грани зуба с рабочей плоскостью шлифовального круга осуществляют путем последовательных поворотов оси фрезы на соответствующие углы по шкалам универсальной головки. Заточку зубьев фрезы чаще ведут поэлементно, т.е. вначале затачивают их главные задние поверхности, а затем последовательно — вспомогательные, переходные и дополнительные поверхности и их режущие кромки.

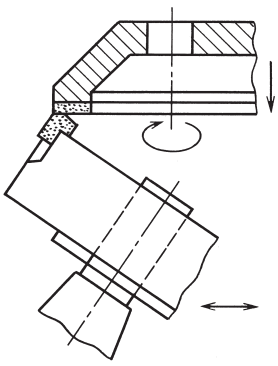


Рис. 15.9. Схема заточки задних поверхностей у торцовых зубьев фрез

Заточку торцовых и переходных зубьев и кромок концевых, цельных торцовых и дисковых фрез осуществляют аналогично заточке подобных зубьев и кромок у сборных торцовых фрез с использованием универсальных головок.

Заточку метчиков производят по передним поверхностям торцовой поверхностью тарельчатого или чашечного круга, совпадающей с осевой плоскостью метчика при переднем угле $\gamma = 0$ или смещенной на величину h относительно оси метчика при $\gamma = 0$ (рис. 15.10, *а*). Заточку осуществляют в центрах с приме-

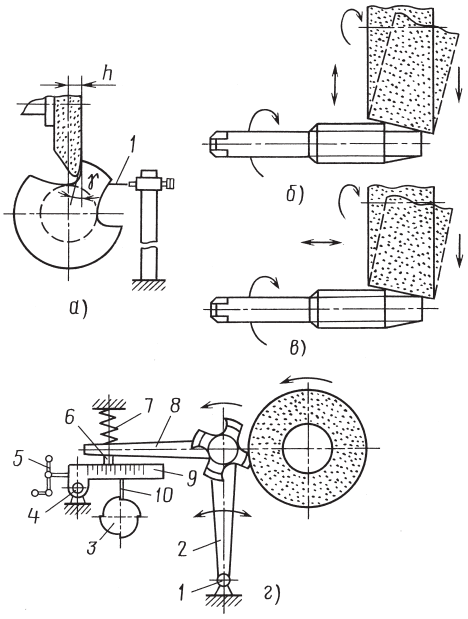


Рис. 15.10. Схемы заточки зубьев у метчиков: *а* — передних поверхностей у зубьев торцовой поверхностью тарельчатого круга при $\gamma \neq 0$; *б, в* — задних поверхностей у зубьев заборной части метчика методом радиального (*б*) и осевого (*в*) затылования периферией плоского цилиндрического или конического круга; *г* — задних поверхностей у зубьев калибрующей части метчика профильным шлифовальным кругом

нением делительных дисков или упорки *1*, фиксирующей положение зубьев (перьев) метчика. Заточку задних поверхностей зубьев заборной части метчика осуществляют кругами прямого профиля радиальным или осевым затылованием (рис. 15.10, *б, в*), а зубьев калибрующей части — затылованием по архимедовой спирали профильными шлифовальными кругами.

На рис. 15.10, *г* представлена схема механизма затылования метчиков, принцип работы которого следующий. Метчик, установленный в центрах на каретке *2*, жестко связанной с рычагом *8*, получает помимо согласованного с кулачком *3* вращения вокруг своей оси еще и качательное движение (на рис. 15.10, *г* указано стрелками) относительно оси *1* за счет имеющихся на периферии кулачка *3* выступов, очерченных по архимедовой спирали. Это движение реализуется через систему последовательно соприкасающихся друг с другом и находящихся в силовом замыкании усилием пружины *7* элементов: упора *10*, рычага *9*, сухаря *6* и рычага *8*. Получение необходимого заднего угла у зубьев метчика обеспечивается установкой с помощью рукоятки *5* сухаря *6* на рычаге *9* в таком положении, при котором расстояние от оси *4* поворота рычага *9* до сухаря *6* соответствует требуемой величине угла.

15.4. Станки для заточки зуборезного инструмента

Режущие элементы зубьев зуборезного инструмента изнашиваются по задним и передним поверхностям.

Зуборезные долбяки с прямыми зубьями затачивают по передним поверхностям периферией (рис. 15.11, *а*) или торцом (рис. 15.11, *б*) круга на универсально-заточном станке с применением приспособления для круглого шлифования, на универсально-шлифовальном станке или плоскошлифовальном станке с круглым столом.

Дисковые модульные фрезы с затылованными зубьями (рис. 15.12, *а*), профиль которых соответствует профилю впадины между зубьями нарезаемого цилиндрического колеса, затачивают по передним поверхностям обычно на универсально-заточных станках на оправке в центрах торцовой поверхностью тарельчатого шлифовального круга.

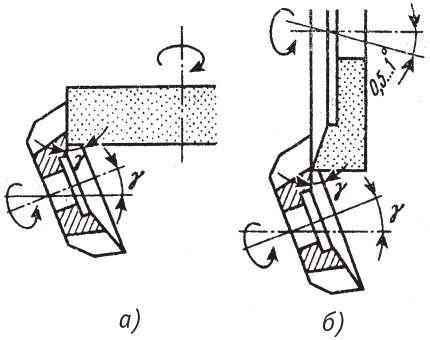


Рис. 15.11. Схемы заточки зуборезных долбяков с прямыми зубьями по передним поверхностям: *а* — периферией круга; *б* — торцом шлифовального круга; γ — передний угол

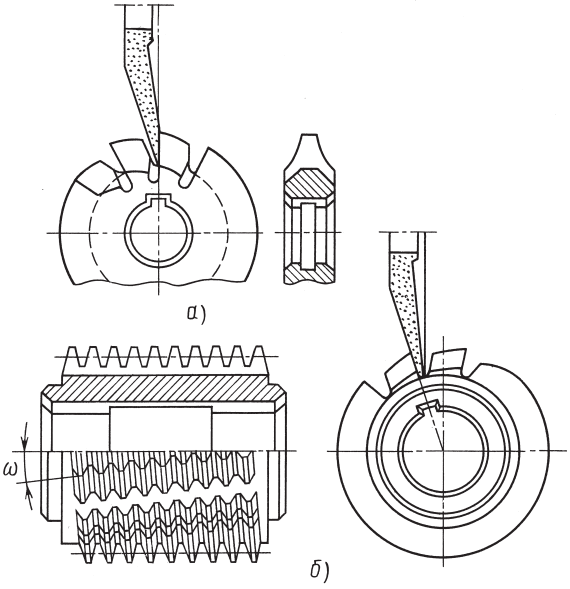


Рис. 15.12. Схемы заточки зуборезных фрез: *а* — дисковых; *б* — червячных с винтовыми стружечными канавками

Червячные зуборезные фрезы затачиваются по передним поверхностям зубьев с базированием на оправках, причем заточку фрез с прямыми стружечными канавками ведут торцовой поверхностью тарельчатого круга аналогично дисковым фрезам (см. рис. 15.12, *а*), а заточку фрез с винтовыми канавками осуществляют конической поверхностью тарельчатого шлифовального круга (рис. 15.12, *б*). Заточка червячных фрез производится на универсальных заточных и специализированных станках, технические характеристики отдельных моделей которых приведены в табл. 15.2.

На рис. 15.13 представлена кинематическая схема полуавтомата мод. 3А662 для заточки червячных зуборезных фрез класса точности АА и модулем от 0,5 до 14 мм с прямыми (при малых значениях модуля) и винтовыми стружечными канавками. Заточка производится конической поверхностью тарельчатого круга методом многопроходного шлифования. Кроме червячных фрез, на нем можно производить заточку и другого многолезвийного инструмента (цилиндрических фрез, разверток, зенкеров и др.).

Производящими линиями передней поверхности зубьев червячной фрезы с винтовыми стружечными канавами являются: прямая линия, полученная методом копирования без движений формообразования, и винтовая линия, образуемая методом касания, при котором необходимы два движения: вращение шлифовального круга $\Phi_v(B_1)$ и винтовое движение $\Phi_S(B_2 П_3)$, включающее согласованные между собой вращение затачиваемой фрезы B_2 и перемещение круга $П_3$ вдоль ее оси.

15.2. Технические характеристики станков для заточки червячных фрез

Параметр	Мод. 3А660А	Мод. 3А662	Мод. 3663	Мод. 3664
Диаметр затачиваемого инструмента, мм, не более	65	200	320	500
Длина инструмента, мм, не более	60	280	450	700
Диаметр шлифовального круга, мм, не более	100	250	300	400
Частота вращения шлифовального круга, мин$^{-1}$	3400 5000 8900	1500 1900 2100 2600	1750 2260	1420 1640 1980
Мощность привода шлифовального круга, кВт	0,75	1,5	2,2	3.5
Габариты станка, мм	1210×680×1450	2580×1440×1675	3140×1500×1675	4500×1900×1840
Масса станка, кг	1080	3700	4320	6920

Кроме этого, необходимы движения: деления $Д(B_4)$ — поворот фрезы на $1/Z$ часть оборота (Z — число стружечных канавок) для перехода к заточке зубьев в следующей стружечной канавке; врезания $B_р(B_5)$ — периодический поворот фрезы на глубину резания при многопроходной заточке после завершения заточки всех зубьев на предыдущем проходе. Движения деления и врезания совершаются тогда, когда круг в винтовом движении вышел из стружечной канавки фрезы.

Шлифовальный круг *6* вращается от двигателя *M* с настройкой частоты вращения сменными шкивами d_1—d_2. При правке круга шлифовальная головка *10*

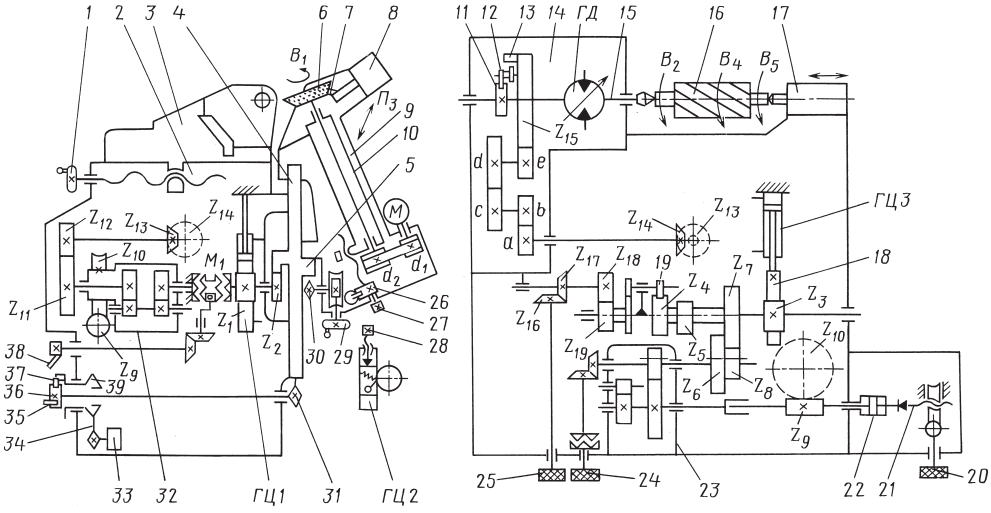


Рис. 15.13. Кинематическая схема заточного полуавтомата мод. 3А662 для заточки червячных зуборезных фрез

перемещается в шлифовальной бабке *9* относительно механизма правки *8* с алмазным карандашом *7* гидроцилиндром *ГЦ2* через храповой механизм *26*. При настройке исходного положения круга относительно затачиваемой поверхности фрезы головка перемещается вручную вращением маховичка *27*.

Шлифовальная бабка *9* установлена на продольных салазках *4* в круговых направляющих *5*, предназначенных для поворота бабки в вертикальной плоскости в соответствии с углом наклона стружечной канавки фрезы. Эта настройка осуществляется вручную маховичком *29* через червячную пару и звездочку *30*, обкатывающуюся по цепи, закрепленной на корпусе салазок *4*.

Внутренней связью сложного движения, обеспечивающей получение винтовой линии с шагом стружечной канавки *T*, является цепь: шпиндель *15*, делительный диск *11*, колесо Z_{15} с фиксатором *12*, сменные колеса *e, d, c, b, a*, коническая пара $Z_{14} — Z_{13}$, колеса $Z_{12} — Z_{11}$, планетарный механизм *32*, в котором корпус неподвижен, а муфта M_1 смещена рукояткой *38* вправо, соединив при этом центральный вал планетарного механизма с колесом Z_2, сцепляющимся с рейкой на продольных салазках *4*.

Внешняя связь сложного движения включает в себя гидроцилиндр *ГЦ1* с неподвижным поршнем и перемещающимся корпусом с закрепленной на нем рейкой, которая и приводит во вращение через Z_1 вал с муфтой M_1 и колесом Z_2. Это движение имеет незамкнутую траекторию и настраивается по пяти параметрам (см. т. 1, гл. 3): траектория — гитарой сменных колес при расчетных перемещениях конечных звеньев внутренней связи — *L* мм перемещения продольных салазок → *L/T* об. шпинделя станка; скорость — регулированием расхода масла, поступающего в гидроцилиндр *ГЦ1*; направление — распределителем *33*, переключающим подачу масла в штоковую или бесштоковую полости цилиндра; а исходное положение и путь — двумя упорами *35* на диске *36*, который приводится во вращение звездочкой *31*, сцепляющейся с цепью, закрепленной на салазках *4*. Один из упоров *35* определяет крайнее левое положение салазок, а установкой второго регулируется величина хода. При перемещении салазок и вращении диска *36* один из упоров нажимает на рычаг *37*, поворачивая звездочку *39*, и через цепь *34* переключает распределитель *33*, реверсируя направление движения салазок.

Настройка исходного положения включает в себя также наладку относительного расположения круга и затачиваемой фрезы, которая осуществляется указанными ранее маховичками *27* и *29*, перемещением поперечных салазок *3* (вращением маховичка *1*) с бабками *14* и *17*, в центрах которых на оправке установлена фреза *16*, и поворотом фрезы от маховичка *24* через корпус планетарного механизма передачей $Z_9 — Z_{10}$ при нейтральном положении блока колес Z_6, Z_8.

Поворот фрезы в движении деления происходит в одном из крайних положений салазок по команде на пуск гидродвигателя *ГД*, который, поворачивая делительный диск *11*, а вместе с ним и шпиндель с фрезой, сначала затылком паза выведет из него фиксатор *12*, прервав тем самым связь шпинделя с колесом Z_{15}, и затем продолжит делительное движение до тех пор, пока фиксатор не западет в следующий паз и не нажмет на конечный выключатель *13* реверсирования гидродвигателя. При реверсе выбираются все образовавшиеся зазоры между делительным диском и колесом Z_{15}, после чего гидродвигатель выключается.

В этом движении настраиваемым параметром является определенный угол поворота фрезы, который обеспечивается сменным делительным диском.

Поворот фрезы на глубину резания в движении врезания производится также в крайнем положении салазок от гироцилиндра *ГЦ3,* со штоком которого связана рейка *18*, при перемещении которой поворачиваются: колесо Z_3, водило собачки *19* и храповое колесо Z_4, цилиндрические колеса Z_5—Z_6 или Z_7 — Z_8, колеса реверсирующего устройства *23*, червяк Z_9 — червячное колесо Z_{10} (корпус планетарного механизма *32*), колеса Z_{11} — Z_{12}, Z_{13} — Z_{14}, *a, b, c, d, e*, Z_{15}, делительный диск *11* и шпиндель фрезы. При этом планетарный механизм *32* работает как суммирующий механизм (дифференциал) с двумя входами (центральный вал с муфтой M_1 и корпус механизма) и одним выходом (второй центральный вал с колесом Z_{11}).

Настройка движения врезания осуществляется по четырем параметрам: исходное положение — маховичком *24*; скорость — расходом масла, подводимого в бесштоковую полость гидроцилиндра; путь (глубина резания) — подвижным блоком Z_6, Z_8 и маховичком *25*, который через колеса Z_{16}—Z_{17} и Z_{18}—Z_{19} поворачивает диск-щиток перекрытия зубьев храпового механизма; и направление — реверсом *23*, используемым при наладке станка для заточки поверхностей зубьев многолезвийного инструмента, требующего при подаче на глубину резания разного направления поворота.

В станке предусмотрен механизм выборки зазора в червячной передаче планетарного механизма за счет осевого смещения червяка Z_9 от гидроцилиндра *22*. Величина смещения регулируется упором *21* при вращении маховичка *20*. При реверсировании движения продольных салазок *4* одновременно реверсируется и осевое смещение червяка Z_9.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

Отрезные станки

Разрезные (отрезные) станки применяются в заготовительном производстве при распиливании заготовок из стального проката различного профиля (круга, квадрата, швеллера, уголка и т.п.), листового материала, заготовок из дерева, камня. Известны станки, работающие ножовками (рис. 16.1, *а*), ленточными пилами (рис. 16.1, *б*) и дисковыми узкими фрезами (пилами) диаметром до 2000 мм (рис. 16.1, *в*).

На *ножовочных станках* обрабатываются заготовки малых и средних размеров. Ножовочные полотна длиной 300...600 мм закрепляются в пильной раме, которая перемещается в горизонтальном, вертикальном или наклонном направлениях. Главное движение осуществляется от двигателя мощностью 1,5...6 кВт и обеспечивает 20...25 ход/мин. Преобразование вращения в возвратно-поступательное перемещение рамы с пилой осуществляется кривошипным механизмом или эксцентриком, причем рама совершает движение по пространственной кривой или дуге окружности. Движение подачи осуществляется, как правило, качанием рамы вокруг цапфы.

Ленточно-пильные станки работают по непрерывному методу и обеспечивают большую производительность. Ленточная пила может перемещаться в вертикальном (инструментальные станки) и горизонтальном (станки для заготовительных операций) направлениях. Непрерывно работающая пила приводится асинхронным двигателем мощностью 2...11 кВт, и с помощью устройства регулирования частоты вращения устанавливают скорость резания — 20...100 м/мин. В качестве инструмента применяют сварные бесконечные ленты длиной 3500...6000 мм, толщиной 0,4…1,2 мм и шириной 4…52 мм.

Наиболее распространены станки, работающие узкими (шириной 0,5… 10 мм) дисковыми пилами, которые могут выполняться как из быстрорежущей стали, так и твердого сплава. Скорость резания — от 200 до 1500 м/мин.

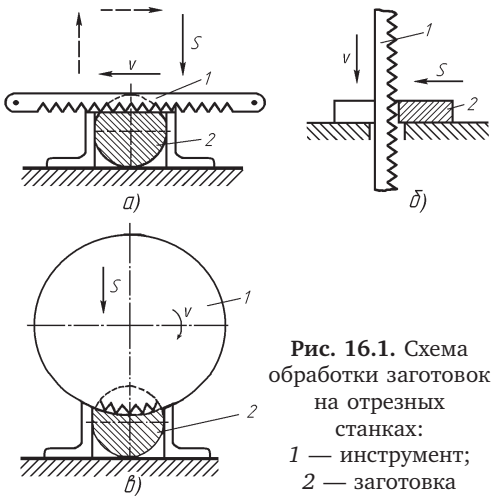


Рис. 16.1. Схема обработки заготовок на отрезных станках:
1 — инструмент;
2 — заготовка

На рис. 16.2 показан общий вид, а на рис. 16.3 — кинематическая схема станка с диаметром пилы 630 мм. Технические характеристики станка приведены ниже.

Диаметр пилы, мм 630
Диаметр заготовки, мм, не более 200
Скорость резания, м/мин:
первый диапазон . . . . . 80...160
второй диапазон . . . . . 8,5...60
Подача фрезы, мм/мин . . . . . 1...800
Ускоренный ход, мм/мин 8000
Перемещение фрезерных салазок, мм, не более 242
Мощность главного привода, кВт 36
Усилие зажима заготовки, Н:
вертикального 52 000
горизонтального 12 000
Скорость перемещения заготовки, м/мин . . . . . 0,2...8
Длина разрезаемых заготовок, мм . . . . . 25...1000
Масса станка, кг 4200

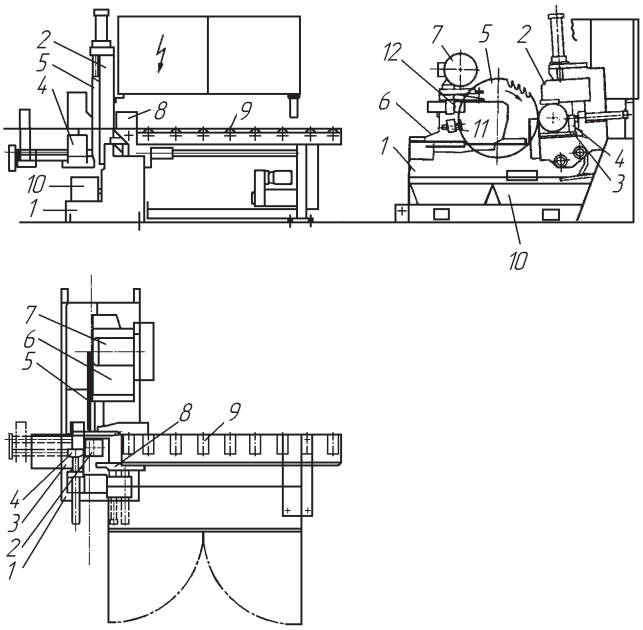


Рис. 16.2. Общий вид станка, работающего дисковой пилой:
1 — станина; *2, 4* — устройства для зажима заготовок в вертикальной и горизонтальной плоскостях; *3* — плита для размещения отрезанного материала; *5* — пила; *6* — салазки, осуществляющие движение подачи; *7* — главный привод; *8* — грейфер подачи заготовок; *9* — роликовый конвейер для перемещения пруткового материала; *10* — сборник стружки; *11* — щетки для очистки пилы от стружки; *12* — стабилизатор для предохранения пилы от колебаний

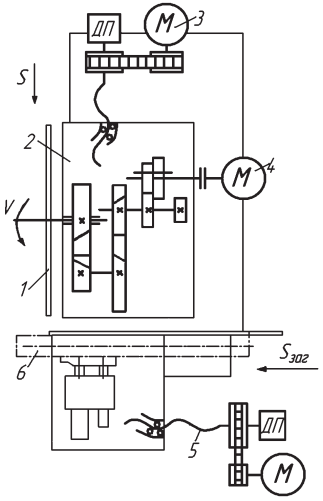


Рис. 16.3. Кинематическая схема отрезного станка, работающего дисковой пилой: *1* — пила; *2* — коробка скоростей; *3* — привод радиальной подачи фрезы; *4* — электродвигатель главного движения; *5* — привод подачи заготовки; *6* — заготовка; *v* — скорость резания; *S* — рабочая подача; $S_{заг}$ — подача заготовки; *ДП* — датчик положения

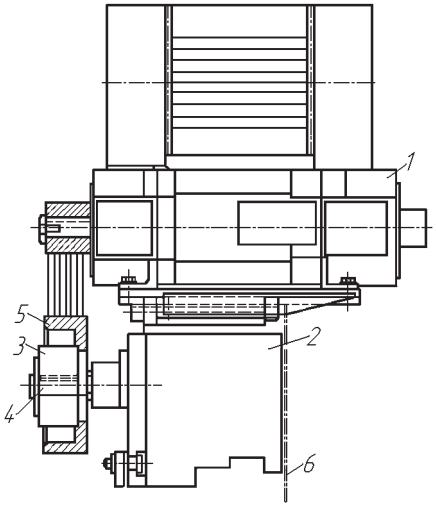


Рис. 16.4. Главный привод

На рис. 16.4 показана схема главного привода. От электродвигателя *1* постоянного тока вращение через клиноременную передачу передается на коробку скоростей *2* и далее на дисковую пилу *6*. Для предохранения привода от перегрузки связь шкива *5* с входным валом *4* коробки скоростей осуществляется через фрикционную предохранительную муфту *3*.

Конструкция двухступенчатой коробки скоростей приведена на рис. 16.5. С входного вала *1* вращение передается на одно из колес зубчатого блока *2*, который переключается вилкой *3* вручную (для выбора соответствующего диапазона частот) и далее на шпиндель *5* через косозубые зубчатые передачи (на отдельных станках используют также червячные передачи). Радиальная составляющая усилия резания воспринимается жестким игольчатым подшипником *6* и коническими роликоподшипниками *4*. Закрепление пилы *7* осуществляется зажимным фланцем *8*, центрирующимся на втулке *9*.

Привод подачи дисковой пилы (рис. 16.6) должен обеспечить равномерную подачу (для одинакового нагружения зубьев фрезы) и быстрый отвод. Поэтому в последнее время традиционно применяемый гидропривод заменяется приводом постоянного тока.

Вращение от высокомоментного двигателя *1* через зубчатый ремень *2* передается на шариковый винт *7* и гайку *6*. Гайка *6* привернута к трубе *8*, а та, в свою очередь, к перемещаемым салазкам *9*. Корпус *4* привода подачи закреплен на станине станка. Перемещение контролируется вращающимся датчиком *3*. Для предохранения шариковой винтовой передачи от повреждения при ускоренном

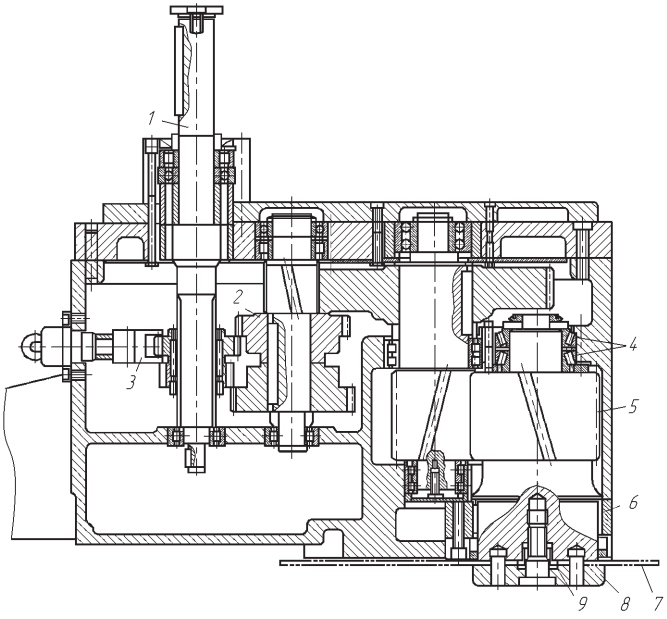


Рис. 16.5. Коробка скоростей

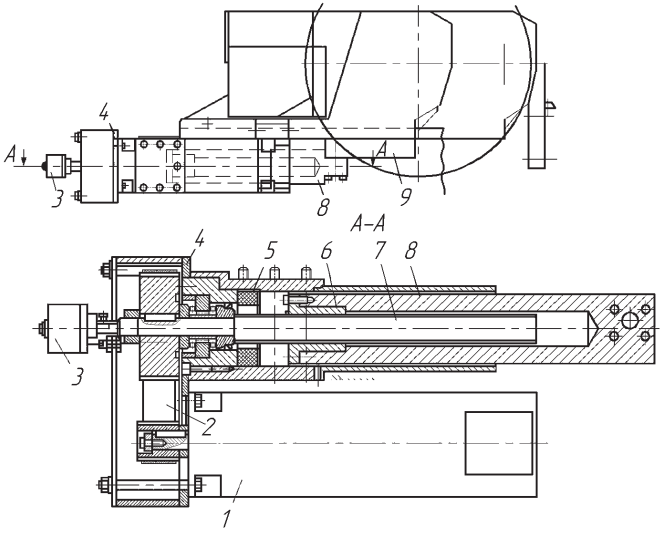


Рис. 16.6. Привод подачи пилы

ходе салазок назад и несвоевременном срабатывании конечных выключателей предусмотрен резиновый амортизатор *5*.

На рис. 16.7 показан привод подачи прутков. Заготовка на направляющем столе по роликам *1* транспортируется к захвату грейфера *2*. Оси роликов наклонены на угол 5° к горизонтали, чтобы пруток прижимался к упору *7* (рис. 16.8) при перемещении. Захватные и досылочные устройства служат для подачи

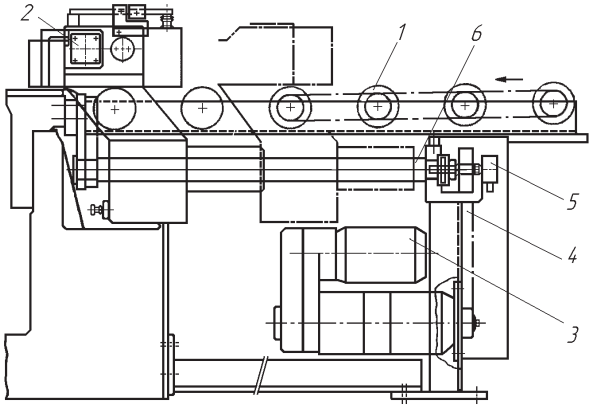


Рис. 16.7. Привод подачи заготовки

заготовки в зону резания, автоматического установления длины отрезания. Привод захватного устройства состоит из зажимных клещей *5* (см. рис. 16.8), которые с помощью гидроцилиндра *6* прижимают пруток к упору *3*. Во время резания грейфер с освобожденными клещами возвращается назад, при этом упор *3* поворачивается и грейфер при возврате не касается заготовки. Перемещение грейфера осуществляется электродвигателем *3* (см. рис. 16.7), передающим вращение через ремень *4* на шариковый винт *6*. Контроль перемещения осуществляется датчиком *5*.

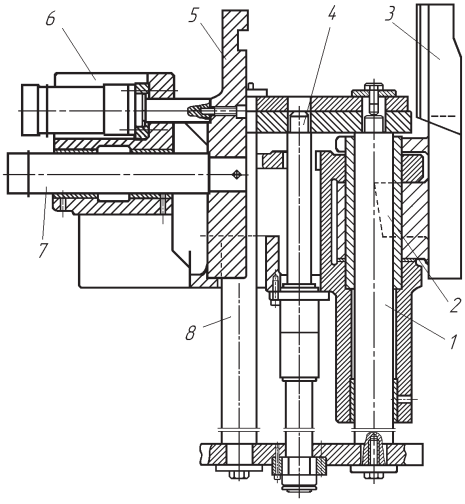


Рис. 16.8. Направляющие механизмы подачи заготовок

Механизм подачи прутков перемещается в цилиндрических направляющих скольжения *1* и *8* (см. рис. 16.8), между которыми установлен шариковый винт *4*. Также в цилиндрической направляющей *7* происходит перемещение грейфера *5* от гидроцилиндра *6*. Упор *3* фиксируется гидроцилиндром (на схеме не показан) через клиновый механизм *2*.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ

Агрегатные станки

Агрегатными называются специальные станки, которые компонуются из функционально самостоятельных нормализованных и частично специальных узлов и деталей. Основными унифицированными единицами агрегатных станков (АС) являются силовые узлы (головки) и столы, транспортные устройства, шпиндельные узлы, зажимные устройства, базовые корпусные детали и т.п. (рис. 17.1).

На агрегатных станках выполняются сверление, растачивание, нарезание резьбы, развертывание отверстий и их зенкование и цекование, протачивание канавок, подрезка торцов, фрезерование. В таких станках заготовка, как правило, неподвижна, что позволяет обрабатывать ее одновременно бóльшим числом инструментов с нескольких сторон.

Однотипность технологических операций, выполняемых на АС, является предпосылкой для разработки важнейших узлов в виде единой гаммы стандарт-

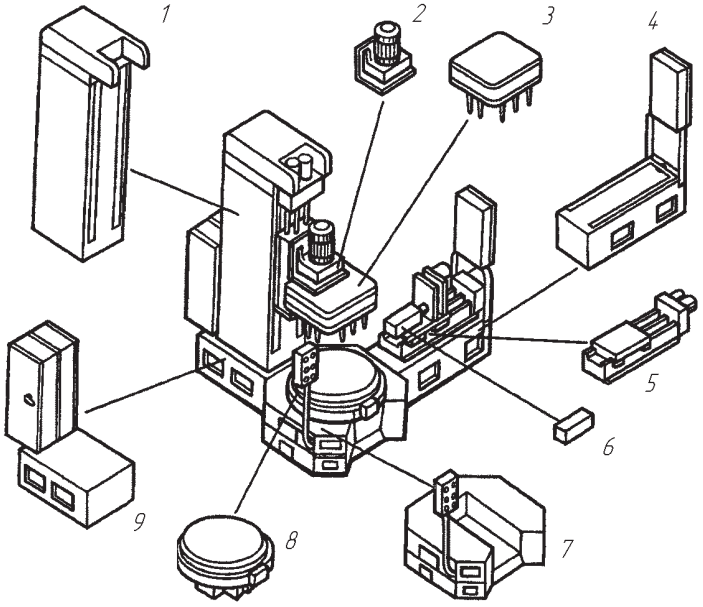


Рис. 17.1. Составные элементы агрегатного станка:
1 — стойка; *2* — силовая бабка; *3* — многошпиндельная коробка; *4* — станина боковая; *5* — силовой стол; *6* — одношпиндельная расточная бабка; *7* — станина центральная; *8* — поворотный делительный стол; *9* — станина-подставка

ных типоразмеров, из которых при проектировании выбирают наиболее подходящие по своему служебному назначению для конкретного случая. Основные преимущества АС:

а) сокращаются сроки и затраты на проектирование и изготовление станков;

б) высокая производительность благодаря многоинструментальной обработке;

в) возможность автоматизации цикла обработки и переналадки (в переналаживаемых станках) на обработку заготовок нескольких типоразмеров.

17.1. Классификация и типовые компоновки

1. В зависимости от габаритов обрабатываемых заготовок АС подразделяют на три группы, различающиеся размерами, массой и используемыми унифицированными узлами:

• малогабаритные АС, оснащенные небольшими по размерам пинольными силовыми головками мощностью 0,18... 0,75 кВт;

• АС средних размеров, оснащенные пинольными силовыми головками с плоскокулачковым приводом подачи мощностью 1,1...3 кВт;

• АС больших размеров, оснащенные гидравлическими или электромеханическими столами, на которых устанавливаются шпиндельные узлы.

2. По отсутствию или наличию транспортного устройства для периодического перемещения обрабатываемой заготовки АС подразделяют на одно- и многопозиционные. В однопозиционных станках (рис. 17.2) крупные заготовки, обрабатываемые силовыми узлами *2*, в одном положении закрепляются в стационарном приспособлении *1*. Обработка проводится с одной (рис. 17.2, *а*), двух (рис. 17.2, *б*, *в*) и трех (рис. 17.2, *г*—*ж*) сторон.

Компоновки АС с поворотным делительным столом *2* (рис. 17.3) выполняются в вертикальном (рис. 17.3, *а*, *в*), горизонтальном (рис. 17.3, *б*, *г*, *е*) и вертикально-горизонтальном (рис. 17.3, *д*) исполнениях. Заготовка закрепляется в приспособлениях *1*, устанавливаемых на делительном столе, и обрабатывается последовательно с одной, двух и трех сторон на нескольких позициях стола.

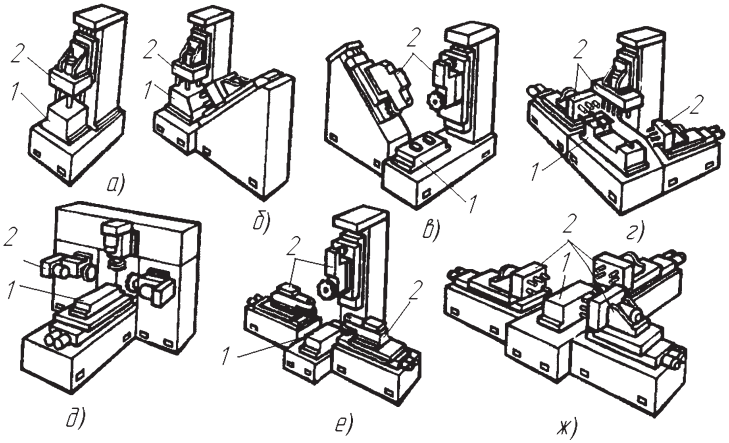


Рис. 17.2. Типовые компоновки агрегатных станков со стационарными приспособлениями

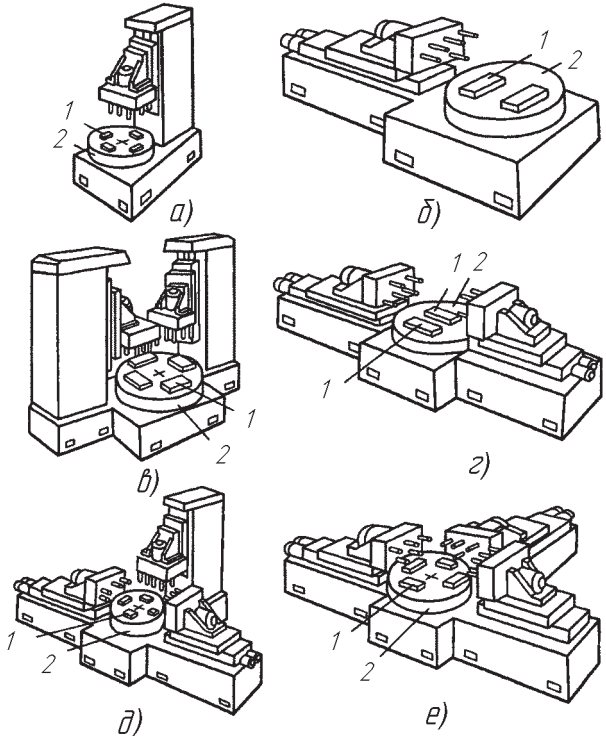


Рис. 17.3. Типовые компоновки агрегатных станков с поворотным делительным столом

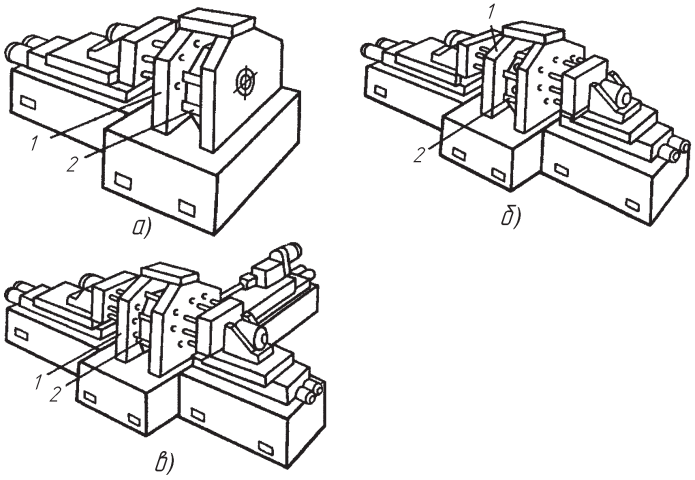


Рис. 17.4. Типовые компоновки агрегатных станков с поворотным делительным барабаном

В агрегатных станках с поворотным делительным барабаном *1* (рис. 17.4) заготовки устанавливаются с помощью приспособлений *2* на барабане *1,* совершающем круговое движение. При этом заготовки обрабатываются с одной (рис. 17.4, *а*), двух (рис. 17.4, *б*) или трех (рис. 17.4, *в*) сторон.

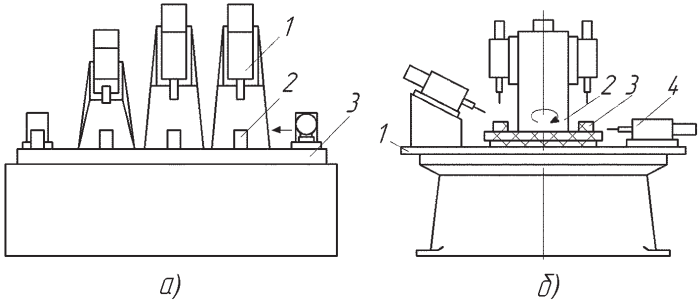


Рис. 17.5. Компоновка агрегатных станков с прямолинейным перемещением заготовок (*а*) и с центральной колонной (*б*)

Типовая компоновка АС с прямолинейным движением стола *3* с заготовками *2* относительно силовых головок *1* показана на рис. 17.5, *а*. На рис. 17.5, *б* приведена компоновка АС с центральной колонной *2*, вокруг которой в горизонтальной плоскости поворачивается обрабатываемая заготовка *3*. Круговое движение заготовок обеспечивает стол *1* карусельного типа. Силовые головки *4* располагаются под разными углами к заготовке.

17.2. Унифицированные узлы агрегатных станков

Все узлы подразделяются на следующие основные группы: силовые, шпиндельные, узлы подачи, базовые и транспортные. Обработка деталей на АС проводится с помощью силовых головок, реализующих вращение шпинделя. Движение подачи осуществляется либо самой силовой головкой, либо силовым столом. На платформу столов устанавливаются шпиндельные бабки (сверлильные, фрезерные и расточные) или угольники с многошпиндельными коробками.

Силовые головки и столы с встроенным приводом подачи называют самодействующими, а с отдельным приводом подач в базовой детали — несамодействующими узлами. Преимущество последних в упрощении обслуживания и ремонта благодаря хорошей доступности к элементам привода. По типу привода движения подачи силовые узлы бывают гидравлическими, электромеханическими (с передачей винт—гайка или кулачковой), пневмогидравлическими и пневматическими.

Силовая малогабаритная головка (рис. 17.6) предназначена для сообщения режущему инструменту вращательного и поступательного движений. Головка состоит из корпуса *4*, в котором установлены фланцы *3* и *6*, служащие опорами скольжения для возвратно-поступательно перемещающейся пиноли *2*.

В пиноли (в двух опорах, состоящих из сдвоенных радиально-упорных шарикоподшипников *21*) установлен шпиндель *1* головки. Натяг подшипников *21* осуществляется пружинами *5*. Шпиндель получает вращение от асинхронного электродвигателя *10*, через зубчатые колеса *9* и *12*, сменные шкивы *А* и *Б*, клиновые ремни *14* и приводной вал *15*.

Привод главного движения выполнен в виде отдельного блока, состоящего из корпусов *11* и *13*. В корпусе *13* располагаются сменные шкивы, а в корпусе *11* — сменные зубчатые колеса, соединяющиеся с корпусом головки посредством

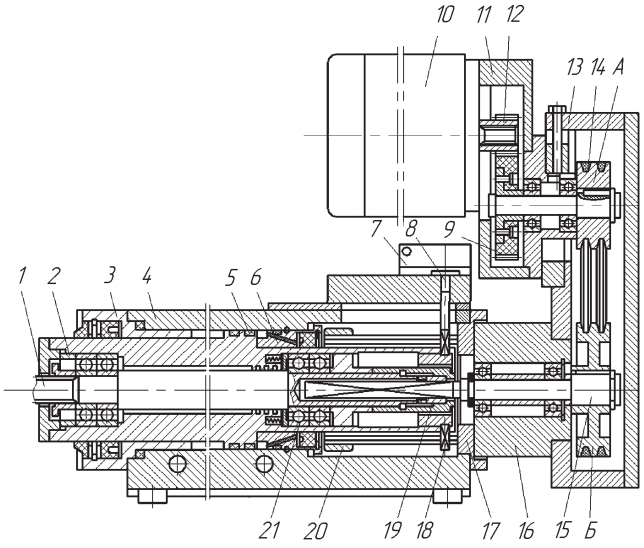


Рис. 17.6. Силовая малогабаритная головка

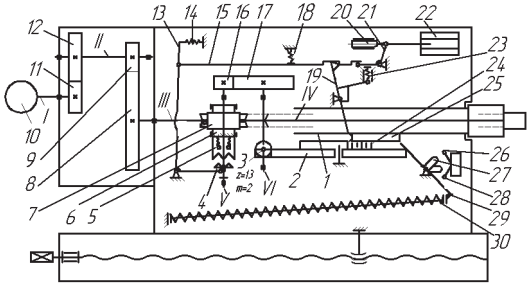


Рис. 17.7. Кинематическая схема головки пинольного типа с плоскокулачковым механизмом подачи

стакана *16* и фланца *17*. Вращение от приводного вала *15* к шпинделю *1* передается через кулачковую муфту *19*. Гайка *20* предназначена для регулирования длины хода пиноли при обработке глухих отверстий. Кулачковый блок *18*, жестко закрепленный на пиноли *2*, в конце хода упирается в гайку и останавливает пиноль. Исходное положение пиноли фиксируется переключателем *7*, получающим команду от экрана *8*, связанного с пинолью через кулачковый блок *18*.

Силовая головка пинольного типа с плоскокулачковым механизмом подачи (рис. 17.7) предназначена для сверления, развертывания, торцевания и нарезания резьбы. При оснащении специальными приспособлениями можно выполнять фрезерование, обтачивание и растачивание кольцевых канавок в отверстиях. Ее конструкция предусматривает возможность оснащения многошпиндельной насадкой, механизмом обратного хода, механизмом двухсторонней обработки, фрезерной насадкой и другими устройствами. *Главное движение* реализуется от электродвигателя *10* через вал *I*, сменные колеса *11* и *12* на вал *II* и через колеса *9* и *8* — на вал *III* и далее на пустотелый червяк *7* к шпинделю *IV*.

Движение подачи осуществляется пинолью *1* совместно со шпинделем *IV* от червяка *7,* колеса *6*, через кулачковую предохранительную муфту *4* (с пружиной *5*), сменные колеса *16*, *17*, от вала *V* на вал *VI*; затем движение передается через шестерню *3* кулачку *2*. Кулачок воздействует через ролик на ось *24*, закрепленную вместе со шпонкой *25* на пиноли *1*, и сообщает последней возвратно-поступательное перемещение. Постоянный контакт кулачка *2* с роликом оси *24* обеспечивается пружиной *30*.

Подача включается автоматически после срабатывания электромагнита *22*. Втягивающийся сердечник магнита поворачивает рычаг *21*, который при этом осуществляет зацепление тяги с рычагом *19*. Пружина *14*, воздействуя на двухплечный рычаг *13*, поворачивает его и включает муфту *4*. При этом замыкается цепь подачи и пиноль движется вперед. Рычаг *19* под воздействием пружины *23* находится в контакте со шпонкой *25* и поворачивается на оси. Свободный конец рычага скользит по выступу тяги *15* и затем попадает в ее паз под действием пружины *18*. Возвращаясь назад, пиноль *1* шпонкой *25* поворачивает рычаг *19*, который перемещает тягу *15*, сжимает пружину *14* и через рычаг *13* отключает муфту *4*, в результате чего пиноль останавливается в исходном положении. В наладочном режиме подача включается нажатием кнопки *20*. Исходное положение контролируется микропереключателем *26*, а команда на реверсирование электродвигателя при резьбонарезных работах силовой головки поступает от микропереключателя *28*. Управление микропереключателями обеспечивается с помощью флажков *27*, закрепленных на рычаге *29*. Для расширения технологических возможностей силовые головки оснащаются дополнительными приспособлениями.

Механизм двухсторонней обработки (рис. 17.8) предназначен для обработки поверхностей (сверление, растачивание, обточка, нарезание резьбы), расположенных с противоположных сторон заготовки. Он состоит из двух насадок (рис. 17.8, *а*), перемещающихся по круглым направляющим в противоположных на-

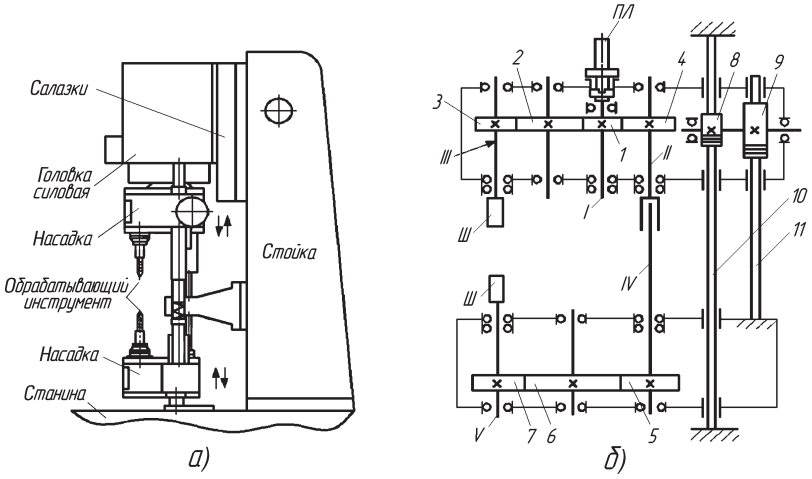


Рис. 17.8. Механизм двухсторонней обработки:
а — общий вид; *б* — кинематическая схема

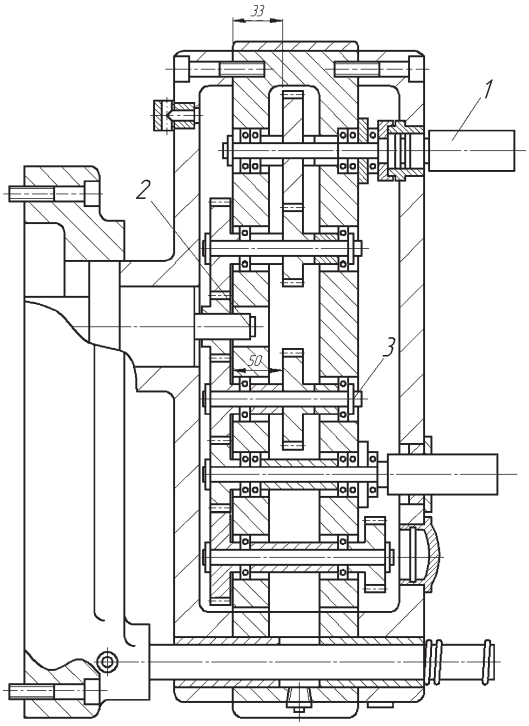


Рис. 17.9. Многошпиндельная насадка

правлениях (см. стрелки на рис. 17.8, *а*). Главное движение шпиндели *Ш* насадок получают от вала *I* шпинделя силовой головки через колеса *1, 2* и *3* на шпиндель *Ш* ведущей насадки, а также через шестерни *1, 4, 5, 6, 7* на шпиндель *V* ведомой насадки. Обе насадки перемещаются одновременно от пиноли силовой головки. Движение подачи передается ведущей насадке, и через реечные передачи *8*, *10* и *9*, *11* движение в противоположном направлении сообщается ведомой насадке.

Многошпиндельные насадки (рис. 17.9) используются для одновременной обработки (сверление, развертывание, нарезание резьбы) нескольких отверстий с параллельными осями. Державка насадки закрепляется на торце силовой головки, и движение со шпинделя *2* головки через зубчатые колеса, установленные на промежуточных валиках *3*, передается рабочим шпинделем *1* насадки.

Силовые столы предназначены для установки на них узлов главного движения (расточных, сверлильных, фрезерных бабок; упорных угольников со шпиндельными коробками) или зажимных приспособлений с обрабатываемыми заготовками и сообщения им прямолинейных рабочих движений подачи. Общий вид и кинематическая схема силового стола с электромеханическим приводом приведены на рис. 17.10. Стол *3* перемещается по направляющей плите *4,* имеющей плоские или призматические направляющие *5*, ходовым винтом *6*, приводимым во вращение электродвигателем *1* (*М1*) — при быстрых ходах и электродвигателем *2* (*М2*) — при рабочей подаче. Электромагнитная муфта *7* служит для разделения кинематической цепи подачи и быстрых ходов. Муфта *8*

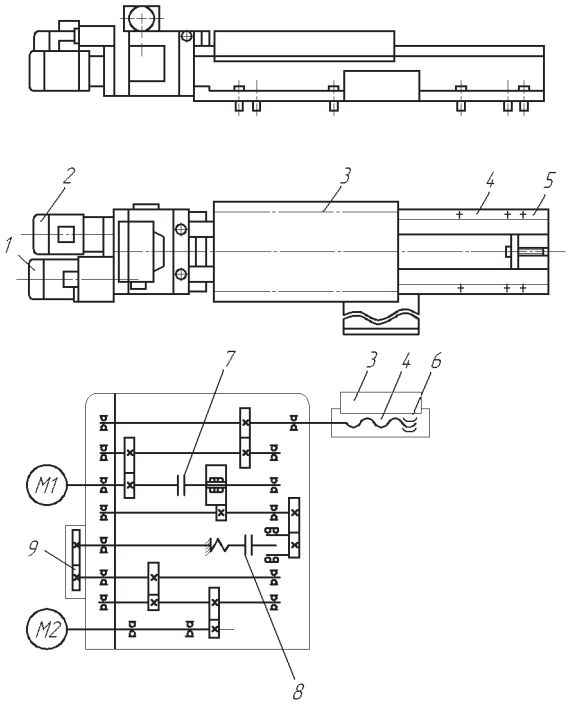


Рис. 17.10. Силовой стол

предохраняет механизм привода при подводе стола к жесткому упору. В АС используют также крестовые силовые столы, обеспечивающие установочные перемещения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и движения подачи по одному из них.

Шпиндельные узлы (сверлильные, расточные, фрезерные бабки, револьверные бабки) — одношпиндельные узлы, широко используемые для выполнения расточных, сверлильных, фрезерных операций и нарезания резьбы. Для подрезания торцов бабки оснащаются механизмами поперечных подач и планшайбами. *В комплекте с* приводом главного движения и силовыми столами бабки могут устанавливаться на горизонтальное, вертикальное или наклонное основание для обработки поверхностей, расположенных под разными углами.

Револьверные бабки предназначены для сообщения главного движения режущему инструменту на рабочей позиции и автоматической смены инструмента (при обработке нескольких заготовок). Бабки выполняют операции сверления, развертывания, фрезерования, растачивания, а также многошпиндельную обработку при установке на них многошпиндельных коробок.

Варианты установки револьверных бабок показаны на рис. 17.11, а конструкция бабки — на рис. 17.12. Поворотный блок шпинделей *3* установлен на оси *5,* закрепленной в корпусе *8*. В качестве опор используются роликоподшипники *4* и *6* с короткими цилиндрическими роликами. Шпиндель на рабочей позиции вращается от регулируемого электродвигателя *12* через колеса *10*, *11*; *1*, *2*. Ввод в зацепление колеса *1* с колесом *2* шпинделя на рабочей позиции осуществляется

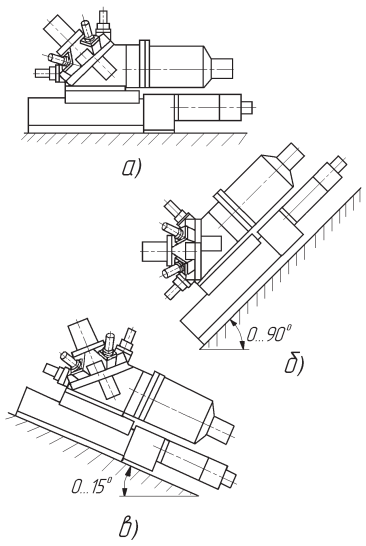


Рис. 17.11. Варианты установки револьверной бабки: *а* — горизонтальная установка; *б* — наклонная установка с направлением рабочей подачи сверху вниз; *в* — наклонная установка с направлением рабочей подачи снизу вверх

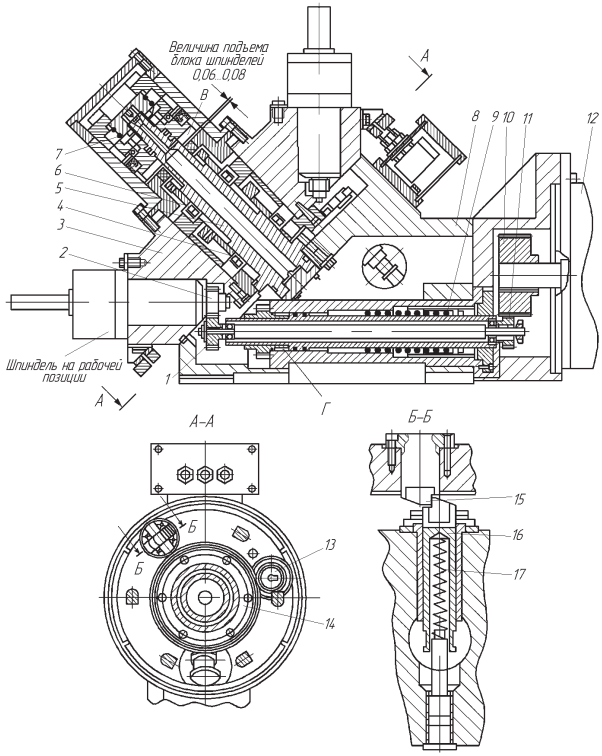


Рис. 17.12. Револьверная бабка

пружиной *9*, а вывод — подачей масла в полость «*Г*» и сжатием пружины *9*. Блок шпинделей прижимается к корпусу при подаче масла в полость «*В*», а при снятии давления блок шпинделей поднимается пружиной *7*. Поворот и реверс блока осуществляются от гидромотора через колеса *13* и *14*. Блок шпинделей фиксируется упором *15* и фиксатором *16*. При повороте блока упор *15* утапливает подвижный фиксатор *16*. После прохода упора *15* блока шпинделей над фиксатором *16* производится реверс гидромотора. При обратном вращении блока шпинделей упор *15* прижимается к фиксатору *16,* который возвращается в исходное положение пружиной *17*.

Транспортные узлы, выполненные в виде поворотных столов, используются для транспортирования заготовки с одной рабочей позиции на другую и точного позиционирования заготовки. Кинематическая схема делительного стола с гидроприводом приведена на рис. 17.13, а конструкция стола — на рис. 17.14. Планшайба *15* поворачивается гидродвигателем *3* через червячную передачу *6* и цилиндрическую *16*. В конце поворота упор *7* наезжает на подвижный фиксатор *9,* который при ходе вниз воздействует на выключатель *13* и нажимает золотник *14*, затормаживающий вращение гидродвигателя *3*. При дальнейшем вращении планшайбы фиксатор освобождается, под действием пружины *10* поднимается вверх и размыкает выключатель *13*. Масло поступает в нижнее отверстие золотника *14*, плунжер которого поднимается и обеспечивает доступ масла к гидро-

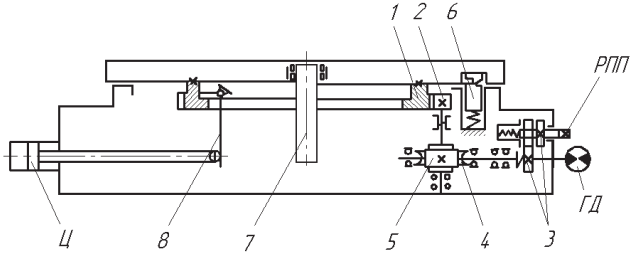


Рис. 17.13. Кинематическая схема делительного стола с гидроприводом: *ГД* — гидродвигатель; *Ц* — цилиндр; *РПП* — ручной привод поворота планшайбы; *1* — зубчатый венец; *2* — приводная шестерня; *3* — колеса ручного привода; *4* — червячное колесо; *5* — червяк; *6* — фиксатор; *7* — центральная ось; *8* — рычаг зажима

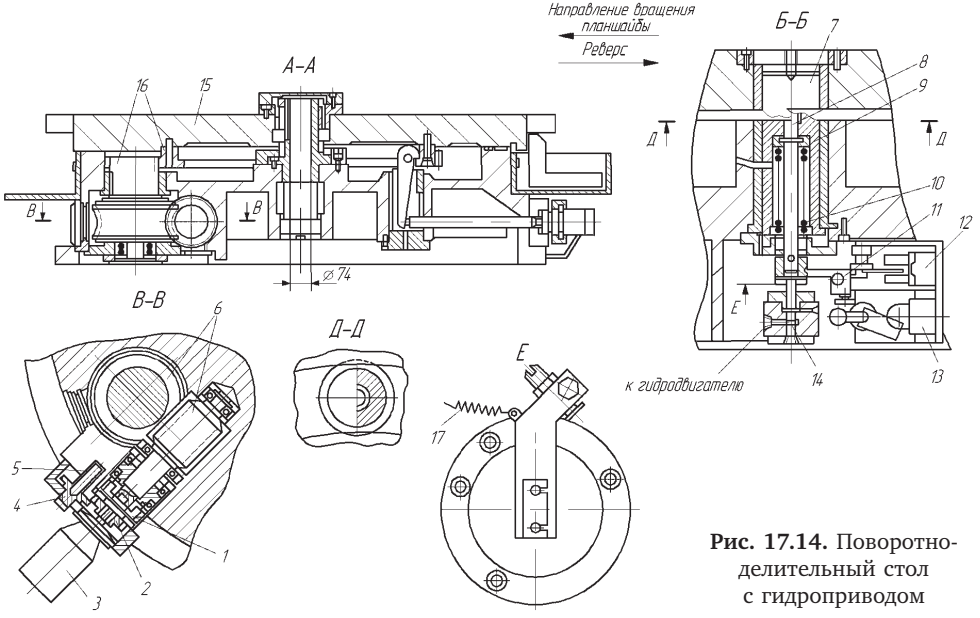


Рис. 17.14. Поворотно-делительный стол с гидроприводом

двигателю. В конце реверса упор *7*, преодолевая усилие пружины *17*, поворачивает валик *8*, расположенный на оси фиксатора *9*. На нижнем конце валика *8* находится планка с винтом *11*, который при повороте валика включает датчик исходного положения *12*. После выдержки времени отключается гидроразгрузка направляющих планшайбы и включается ее зажим. Стол оснащен ручным приводом поворота планшайбы, используемым при наладке. Он состоит из подпружиненного вала-шестерни *4*, на конце которого выполнено шестигранное отверстие, и колеса *2*, соединенного муфтой *1* с червяком *6*. При сжатии пружины *5* шестерня *4* вводится в зацепление с колесом *2*, после чего можно вручную поворачивать планшайбу *16*.

Зажимные приспособления АС обеспечивают базирование заготовки с требуемой точностью и надежное ее закрепление. В автоматизированных приводах устройств зажима используют пневматические или гидравлические цилиндры, а также электро- или гидромеханические ключи.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

Автоматические линии

18.1. Основные типы автоматических линий

Автоматические линии (АЛ) предназначены для изготовления деталей в условиях крупносерийного и массового производства. Экономическая эффективность использования АЛ достигается благодаря их высокой производительности, сокращению обслуживающего персонала, стабильному качеству изделий, ритмичности выпуска, созданию условий для современных методов организации производства и, как следствие, низкой себестоимости продукции.

Автоматическая линия (рис. 18.1, *а*) представляет собой совокупность автоматического основного технологического и вспомогательного оборудования (машин), установленного в порядке следования технологического процесса и имеющего общее управление или несколько взаимосвязанных систем управления. Загрузка, разгрузка и межоперационное перемещение заготовок от станка к станку осуществляются автоматической транспортной системой, имеющей накопитель первичной загрузки. АЛ должна содержать не менее двух автоматических станков. *Участок* АЛ — часть АЛ, которая может действовать самостоятельно.

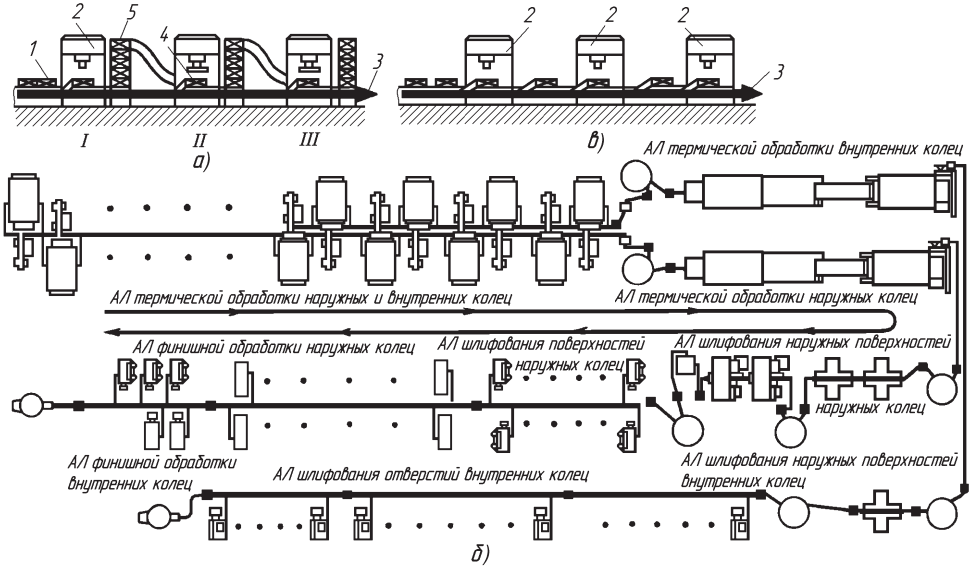


Рис. 18.1. Компоновка автоматической линии:
1 — накопитель первичной загрузки заготовок; *2* — станок; *3* — конвейер; *4* — заготовка; *5* — накопитель; *I, II, III* — участки линии

В состав АЛ входят следующие компоненты.

• Технологическое оборудование для выполнения части технологического процесса (агрегатные станки, специальные и специализированные автоматы и полуавтоматы — для механической обработки заготовок; контрольно-сортировочное оборудование, оборудование для нанесения на поверхность деталей покрытий, мойки, упаковки и т.п.).

• Транспортные агрегаты (конвейеры, лотки, подъемники, устройства для поворота заготовок — для выполнения межоперационных транспортных операций, накопители заделов — для бесперебойной работы линии при простое участков или отдельного оборудования). Загрузочные устройства — для подачи заготовок с основной транспортной трассы в рабочую зону станка, устройства для отвода стружки.

• Система управления на базе электрических, электрогидравлических, электромеханических, электропневматических, механических и других элементов, которая обеспечивает:

— управление рабочим циклом отдельных агрегатов и станков, а также рабочим циклом синхронных линий и участков несинхронных линий в целях обеспечения заданной последовательности их работы;

— взаимную блокировку независимо работающих агрегатов линий для обеспечения их взаимодействия; автоматическое обнаружение места и характера возникающих отказов;

— получение информации для управления эксплуатацией оборудования (учет выпускаемых деталей, сигнализация о необходимости смены инструмента и т.д.).

Система АЛ — совокупность взаимосвязанных линий для последовательного изготовления детали, установленных в последовательности процесса обработки, соединенных автоматическими транспортными (накопительными) устройствами и оснащенных взаимосвязанными системами управления. На рис. 18.1, *б* приведена схема системы линий по обработке колец и сборке шариковых подшипников. На встроенных линиях выполняются определенные виды обработки (точение, шлифование и т.д.).

18.2. Классификация АЛ

По степени совмещения времени обработки с транспортированием заготовки АЛ подразделяют на *стационарные, роторные* и *конвейерные*.

По числу потоков различают *однопоточные* (каждая операция выполняется на одной заготовке) и *многопоточные* (одна и та же операция выполняется одновременно на нескольких заготовках).

Транспортные потоки на линиях могут быть *зависимыми* и *независимыми*, т.е. заготовки на последующую обработку поступают на определенное оборудование или нет. По числу типов одновременно обрабатываемых заготовок линии подразделяют на *однопредметные* (однономенклатурные) и *многопредметные* (многономенклатурные).

Гибкая АЛ — переналаживаемая на заданную и перенастраиваемая на новую номенклатуру деталей. Переналадка может осуществляться регулировани-

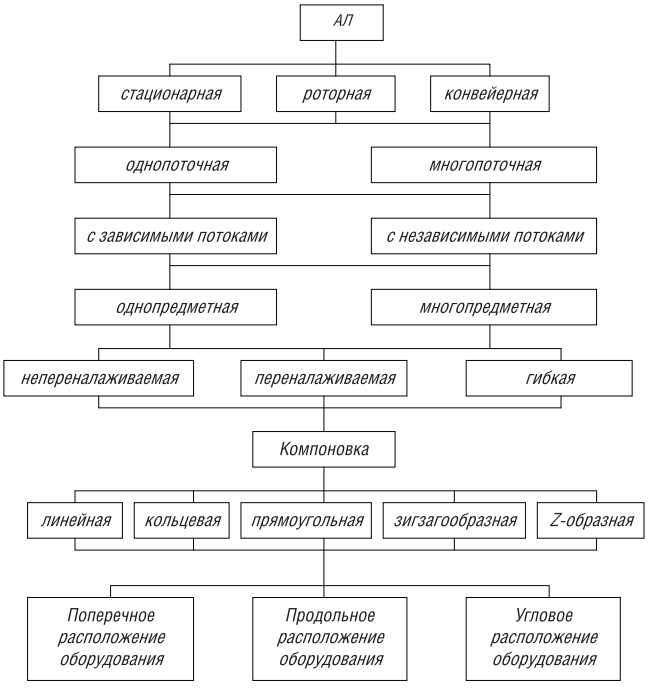


Рис. 18.2. Классификация автоматических линий

ем или сменой отдельных элементов оснастки, транспортных или загрузочных устройств и т.д. Разновидности АЛ по компоновке показаны на рис. 18.2.

АЛ называют сблокированной (синхронной) (см. рис. 18.1, *в*), если транспортная система и система управления связаны общим циклом работы. В этом случае оборудование работает синхронно (заготовки загружаются, обрабатываются, передвигаются одновременно) и при последовательном расположении оборудования отказ любого станка вызывает в течение цикла остановку линии.

Несблокированные (несинхронные) АЛ (см. рис. 18.1, *а*) — такие, в которых транспортная система и система управления обеспечивают (в определенных пределах) независимый цикл работы каждого станка, установленного последовательно или параллельно. Отказ любого станка не вызывает одновременного простоя АЛ, так как все другие станки продолжают работу до окончания межоперационных заделов, размещенных в накопителях или транспортной системе.

По характеру транспортирования заготовок АЛ подразделяют на *спутниковые* (заготовки базируют, обрабатывают и транспортируют на спутниках) и *бесспутниковые*.

Важным показателем конструкции транспортной системы и оборудования является способ транспортирования, который может быть *сквозным* (через зону обработки) или *несквозным*, при этом транспортный поток может быть *ветвящимся* и *неветвящимся*. В АЛ с ветвящимся потоком поток заготовок делится хотя бы на одной операции на несколько потоков, и обработка проводится на параллельно работающих станках (рис. 18.1, *б*).

По виду обрабатываемых заготовок различают АЛ для обработки *корпусных деталей* (головки блоков, блоки цилиндров, двигателей, корпуса коробок передач и т.п.) и линии для обработки деталей *типа тел вращения* (кольца подшипников, валы, гильзы и т.д.).

18.3. Автоматические линии для обработки корпусных деталей

Автоматические линии строят на базе агрегатных станков; их число и компоновка линии зависят от сложности изготовления деталей, состава необходимых операций и переходов обработки, требуемой производительности (число станков колеблется от 2 до 100). В качестве примера рассмотрим систему автоматических линий (САЛ), предназначенных для обработки блока цилиндров двигателя автомобиля (рис. 18.3—18.6). САЛ состоит из 22 АЛ (*1—20*), см. рис. 18.3; АЛ *17* и *18* работают параллельно, поэтому в системе предусмотрено по две такие АЛ. Кроме того, в САЛ установлены автоматизированные участки *22*, *23*, *24* и *25* и четыре моечных агрегата *21*. Блоки цилиндров перемещаются в АЛ шаговыми конвейерами *26*, *27* и *28*. Заготовкой блока является отливка (рис. 18.4).

В АЛ на автоматизированных участках производятся следующие операции:

• АЛ *1* — фрезерование базовых поверхностей *Р, Ш* и обработка отверстия *Щ* (рис. 18.4 и 18.6);

• АЛ *2* и *3* — фрезерование поверхностей *а*, *б*, *г*, *д*, *ж*, *м*, *у*, *ф*, обработка отверстий под болты *29* для установки крышек *30* коренных опор, обработка отверстий *Н* под клапаны;

• АЛ *4*, *5* и *6* — фрезерование поверхностей *К* и *О*, растачивание отверстий *Л* под гильзы, чистовое протягивание базовых поверхностей *б* и *г* для установки крышек *30*, сверление отверстий *И*, *П* и др.;

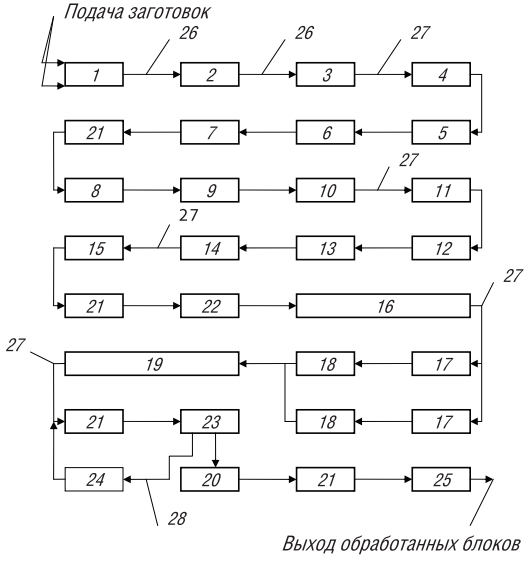


Рис. 18.3. Планировка автоматических линий для обработки блока цилиндров двигателя автомобиля

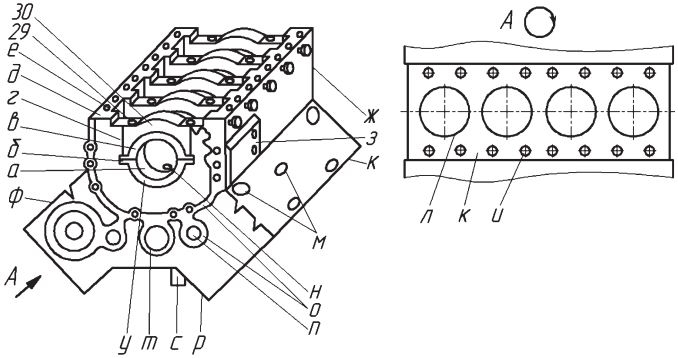


Рис. 18.4. Блок цилиндров двигателя

• АЛ *7* и *8* — сборка блока с крышкой *30*, завертывание болтов *29*, заштифтовка, чистовое фрезерование поверхностей *д* под поддон;

• АЛ *9—14* — обработка отверстий в плоскостях *д*, *м*, *о*, *ф* и сверление каналов для подвода масла;

• АЛ *15—20* — чистовое растачивание отверстий *а*, *в* и *г* под опоры коленчатого и распределительного валов, контроль диаметра указанных отверстий, чистовое растачивание отверстий *Л* под гильзы, обработка отверстий *И* под крепление головок цилиндров;

• автоматизированные участки *22* и *23* — контроль герметичности каналов для подвода масла и водяного охлаждения полостей;

• участок *24* — ремонт забракованных блоков; участок *25* — ручной контроль.

На рис. 18.5 показана АЛ1, входящая в САЛ. Остальные АЛ и участки имеют, в основном, аналогичное структурное построение. АЛ1 состоит из двух па-

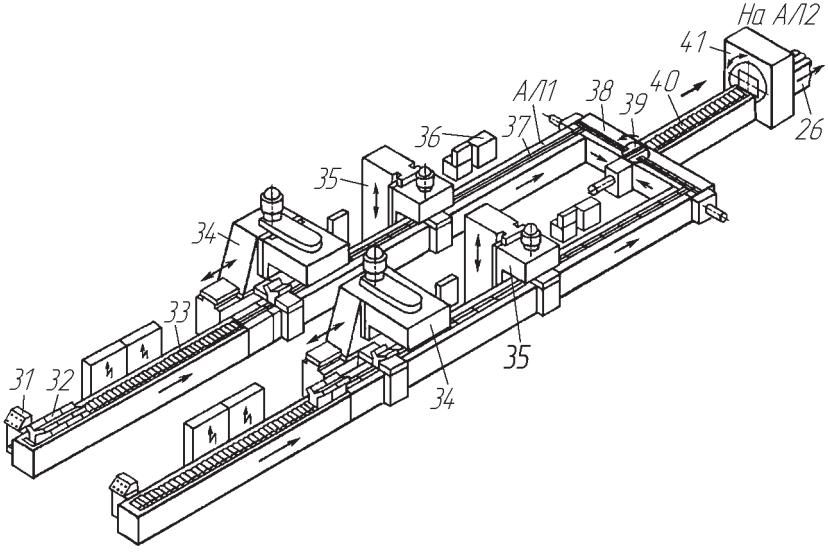


Рис. 18.5. Автоматическая линия для обработки базовых поверхностей

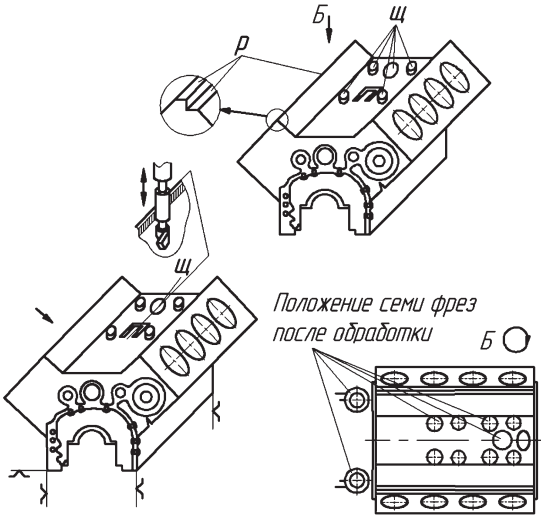


Рис. 18.6. Технологический процесс обработки

раллельных потоков (соединяющихся в конце АЛ в один), каждый из которых имеет специальный семишпиндельный фрезерный *34* и сверлильный *35* станки. Заготовка *32* блока устанавливается на конвейер-накопитель *33* (с приводными роликами), откуда шаговым конвейером *37* подается в зажимное приспособление фрезерного станка *34* и после обработки следует на сверлильный станок *35*. Далее конвейерами *37* и *38* блок подается на стол *39*, где поворачивается на 180° в горизонтальной плоскости, а затем конвейером-накопителем *40* — в барабан *41*, где поворачивается на 180° в вертикальной плоскости. По окончании обработки блок (конвейером *26*) передается на линии *2*. Каждым потоком АЛ управляют с пульта *31*. Смазывание станков осуществляется от станции *36* централизованной системы.

18.4. Автоматические линии для обработки деталей типа тел вращения

Детали типа тел вращения, предназначенные для обработки на автоматических линиях, в соответствии со способами базирования, транспортирования, а также использования основного технологического оборудования подразделяют на две основные группы:

- детали типа валов длиной, значительно превышающей диаметр;
- детали типа дисков (колец) диаметром, большим длины.

Для токарной обработки, например валов, широко используют многорезцовые токарно-копировальные автоматы (см. гл. 3), в то время как для изготовления деталей типа дисков и колец наибольшее применение нашли горизонтальные и вертикальные многошпиндельные токарные автоматы.

Многошпиндельные токарные автоматы обладают широкими технологическими возможностями при обработке разнообразных деталей, обеспечивая высокую степень концентрации обработки.

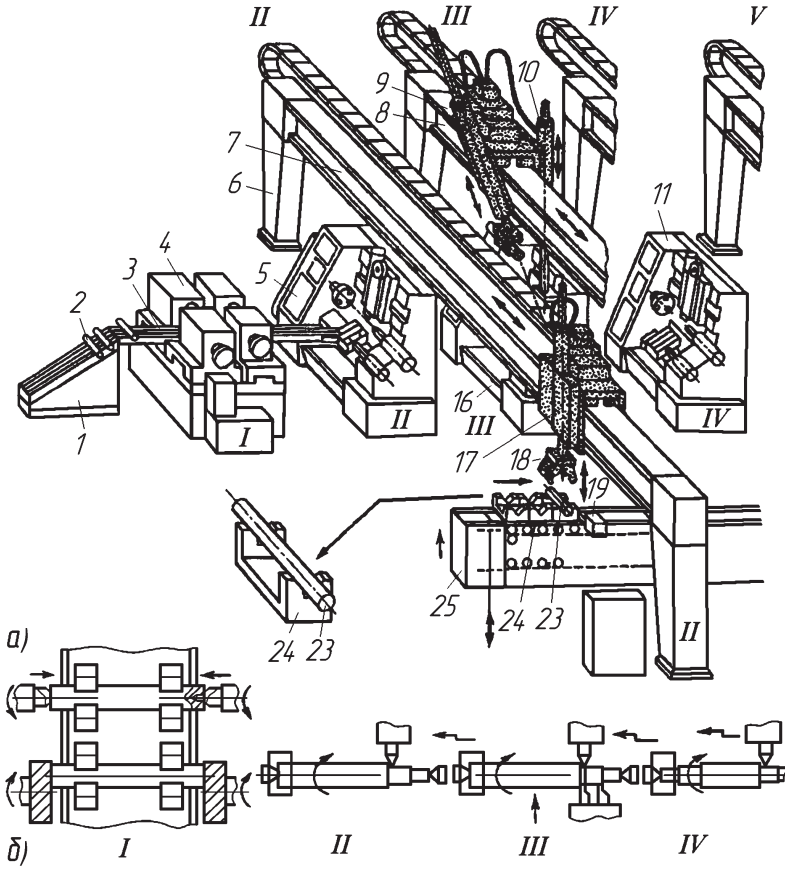
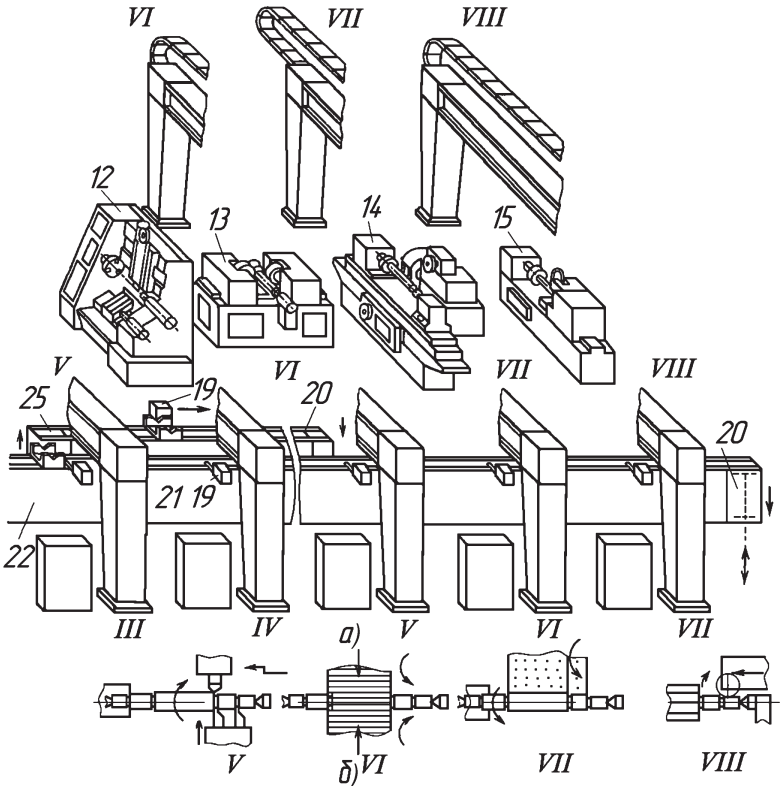


Рис. 18.7. Автоматическая линия для обработки валов электродвигателей: *а* — общий вид; *б* — технологический процесс обработки

В качестве примера на рис. 18.7 приведена АЛ, обслуживаемая *портальными манипуляторами* (ПМ) для обработки валов электродвигателей. АЛ состоит из наклонного цепного накопителя *1* и девяти различных станков *4*, *5*, *11—16*, расположенных перпендикулярно к двум транспортным системам. Одна из систем (с длинным конвейером *22*) предназначена для подачи заготовок и отвода валов *23*, обработанных на операциях *II, III, IV, VI, VII, VIII*, для каждой из которых предусмотрено по одному станку. Вторая система (с коротким конвейером *21*) используется (совместно с первой системой) для отвода валов на операцию *V*, где предусмотрены два параллельно работающих станка *12*.

Наличие двух транспортных систем облегчает перемещение валов, находящихся в разных стадиях обработки. Над станками и транспортными системами установлены восемь манипуляторов ПМ *17* и *9* для загрузки-разгрузки обрабатываемых деталей. Манипуляторы размещены на балках (порталах) *7*, смонтированных на стойках *6*. Каждая транспортная система обеспечивает перемещение *приспособлений-спутников* (ПС) *24* (с валами *23*) по верхним роликам конвейеров *22* и *21* и возврат разгруженных ПС с помощью опускателя *20*, нажимных



роликов конвейера и подъемника *25*. Перемещение загруженных ПС *24* по конвейерам происходит до тех пор, пока они не задерживаются отсекателями *19*, установленными против каждого станка. После обработки вала на операции *VIII* он с помощью ПМ помещается в контейнер.

При установившейся работе АЛ валы обрабатываются в такой последовательности: загружаемые вручную заготовки *2* с наклонного накопителя *1* шаговым конвейером *3* поступают на фрезерно-центровальный автомат *4* (операция *I* для обработки торцов и сверления центровых отверстий, рис. 18.7, *б*), затем детали тем же конвейером передаются на гидрокопировальный токарный автомат *5* для чернового точения правого хвостовика вала. Клещами *18* рабочего органа однорукого ПМ *17*, обслуживающего операцию *II* и расположенного над автоматом *5*, обработанный вал захватывается и переносится на свободное ПС *24*, удерживаемое на роликах длинного конвейера *22* отсекателем *19*. По команде от ПМ отсекатель открывается, и ПС (с валом) перемещается до следующего закрытого отсекателя *19*. Манипулятор *9* ПМ, обслуживающий операцию *III* и находящийся над конвейером *22*, захватывает рабочим органом *8* вал (обработанный на операции *II*) с ПС, расположенным на конвейере *22*. Затем тот же ПМ рабочим органом *10* укладывает в ПС вал, ранее обработанный на операции *III*, и перемещается к гидрокопировальному автомату *16*. Вначале (с помощью кле-

щей свободного рабочего органа *10* манипулятора) ПМ снимает обработанный на автомате *16* вал, а затем вторым рабочим органом *8* загружает новый вал для чистового обтачивания шеек и прорезки канавок правого хвостовика. Далее манипулятор ПМ, обслуживающий операцию *III*, возвращается к конвейеру для разгрузки-загрузки валов.

Аналогично манипулятор ПМ, обслуживающий операцию *VI*, выполняет разгрузку-загрузку валами гидрокопировального автомата *11* для чернового точения шеек левого хвостовика. При этом манипулятор ПМ, обслуживающий операцию *IV*, поворачивает вал (перед загрузкой в автомат *11*) в горизонтальной плоскости на 180°. После обработки вал (манипулятором ПМ, обслуживающим операцию *IV*) переносится на ПС длинного конвейера *22*, обеспечивающего его перемещение к отсекателям двух станков *12*, осуществляющих операцию *V*.

Манипуляторами двух ПМ, обслуживающих операцию *V*, вал переносится к гидрокопировальным токарным автоматам *12* для чистового обтачивания шеек и прорезки канавок левого хвостовика вала. Обработанный вал передается на ПС короткого конвейера *21*. На операции *VI* ПМ загружает вал (с короткого конвейера *21*) на накатной автомат *13*, а обработанный вал разгружает на длинный конвейер *22*. На последующих операциях *VII* и *VIII* загрузка и разгрузка валов (соответствующим ПМ) осуществляются с ПС только длинного конвейера *22*. На накатном автомате *13* (операция *VI*) происходит выдавливание рифлений на наружной поверхности, необходимых для запрессовки пакета железа якоря. На круглошлифовальном автомате *14* (операция *VII*) шлифуется наружная поверхность рифлений и шейки. На шпоночно-фрезерном автомате *15* (операция *VIII*) фрезеруется шпоночный паз.

На рис. 18.8 приведена схема АЛ для токарной обработки колец кониче-

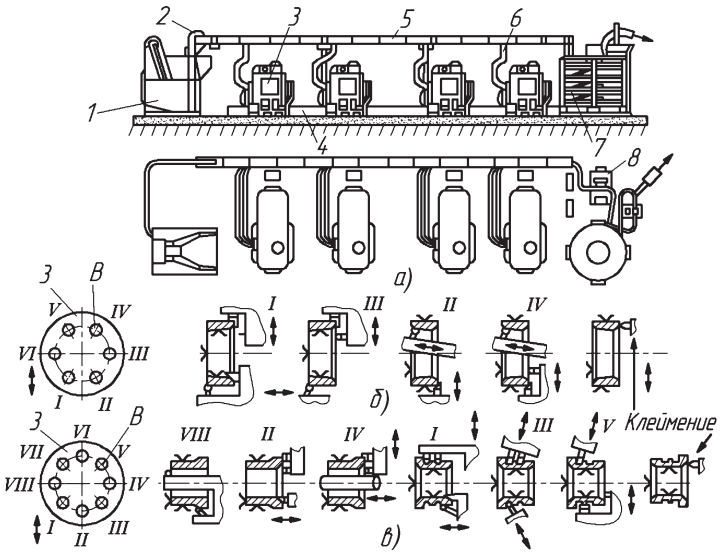


Рис. 18.8. Автоматическая линия токарной обработки колец конических роликовых подшипников:

а — общий вид; *б* — обработка наружных колец; *в* — обработка внутренних колец; *З* — загрузка; *В* — выгрузка

ских роликоподшипников. В начале линии установлен автоматический бункер *1* для накопления и выдачи штучных заготовок, а в конце — магазин *7* (с вращающимися щетками). Транспортные устройства (конвейеры подводной *5* и отводящий *4*, подъемники *2*, гибкая лотковая система *6*) передают заготовки из бункера к многошпиндельным токарным автоматам *3*, а обработанные кольца — к прессу клеймения *8* и далее в магазин. Наружные кольца обрабатывают на шестишпиндельных, а внутренние — на восьмишпиндельных токарных автоматах. На каждом станке реализуется полная токарная обработка кольца, технологические процессы которой представлены соответственно на рис. 18.8, *б*, *в*. Загрузка, выгрузка и поворот кольца в процессе обработки обеспечиваются автооператором.

18.5. Комплекс автоматических линий для обработки поршней автомобилей

Заготовки поршня (рис. 18.9) после отрезки прибыли на фрезерно-отрезных станках и искусственного старения в печи поступают на комплекс АЛ для механической обработки и лужения, состоящий из пяти линий (рис. 18.10).

Заготовки из контейнера вручную укладывают на ленточный конвейер *1*; через подъемник *2* они следуют на вертикальный шестишпиндельный роторный токарный автомат *3* для чернового обтачивания поверхности головки, юбки и подрезки днища с проточкой бобышки для центрового отверстия.

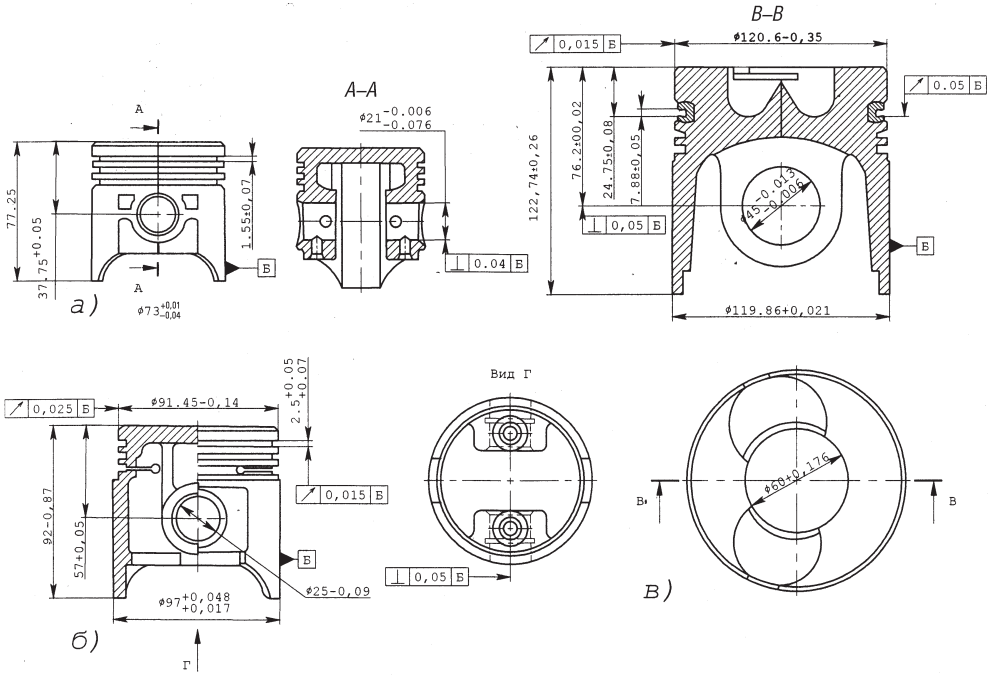


Рис. 18.9. Поршни, обрабатываемые на комплексных автоматических линиях: *а* — легкового автомобиля «Жигули»; *б* — легкового автомобиля «Волга»; *в* — грузового автомобиля

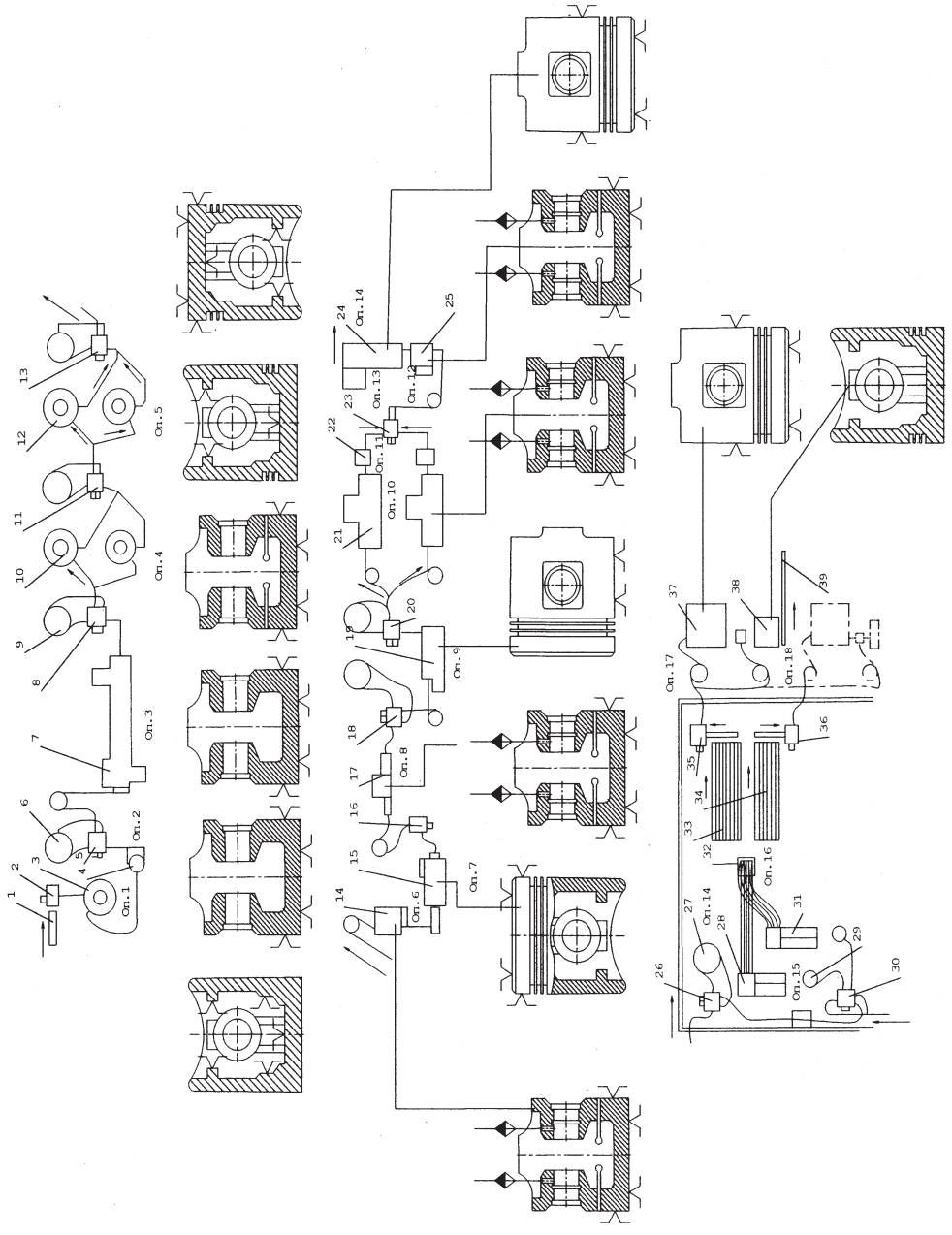


Рис. 18.10. Комплекс автоматических линий для обработки поршней автомобиля «Волга»

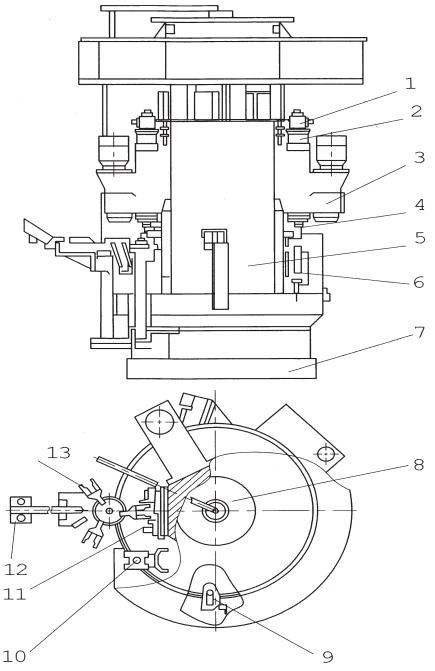


Рис. 18.11. Общий вид шестишпиндельного вертикального роторного токарного автомата для обработки поршней:
1 — механизм ориентации; *2* — цилиндр разжима; *3* — силовая головка; *4* — зажимной патрон; *5* — вращающаяся колонна; *6* — механизм подачи поршня в патрон; *7* — станина; *8* — неподвижная колонна; *9* — устройство контроля наличия поршня в патроне; *10* — ротор разгрузки; *11* — двухсуппортная группа; *12* — приемный лоток с механизмом ориентации поршня; *13* — ротор загрузки

На рис. 18.11 представлен общий вид такого автомата. Поршни передаются на дисковый стол *4* (см. рис. 18.10) для контроля отсутствия раковин и других дефектов. Через подъемник *5* поршни непосредственно или с заходом в магазин *6* поступают на АЛ7 для сверлильно-фрезерных операций.

На этой линии выполняются: зенкерование отверстия под палец, фрезерование плоскости грузовых приливов и торцов выступов юбки, зенкерование, сверление и развертывание двух технологических отверстий в бобышках, сверление центрового отверстия в бобышке днища, сверление четырех отверстий в головке для выхода фрез, фрезерование двух прорезей в головке.

Обработанные поршни через подъемник *8* и магазин *9* (или минуя его) поступают на два параллельно работающих вертикальных шпиндельных роторных автомата *10* для окончательного обтачивания головки, прорезания канавок под поршневые кольца и предварительного обтачивания юбки. Затем поршни через лотки и подъемник *11* поступают на два вертикальных шестишпиндельных роторных автомата *12* для окончательного алмазного обтачивания юбки по сложному профилю (с помощью копира); далее поршни *13* передаются на следующую АЛ.

На линии, состоящей из четырех автоматов, связанных лотками и подъемниками *16* и *18,* осуществляются:

- на двухшпиндельном автомате *14* — растачивание отверстия под палец, протачивание стопорных канавок и фрезерование бобышки на днище;
- на автомате *15* поршни взвешиваются и подгоняется их масса путем снятия лишнего металла с грузовых приливов;
- на автомате *17* с помощью электрохимической обработки удаляют заусенцы, появившиеся в местах перехода обработанных поверхностей;
- на автомате *19* осуществляется лужение поверхности юбки.

Перед лужением и после него поршни в автомате подвергаются операции обезжиривания и мойки. В процессе обработки поршни перемещаются на вращающихся валиках, расположенных над ваннами.

На следующей АЛ, состоящей из двух параллельно работающих четырехшпиндельных автоматов *21* и других автоматов, связанных лотками и подъемниками *20* и *23*, происходит: алмазное растачивание отверстия под палец в два перехода, на машине *22* — промывка, на трехшпиндельном автомате *25* — раскатывание отверстия под палец, а на автомате *24* — окончательная мойка и сушка поршней.

Перед раскатыванием на автомате измеряется диаметр отверстия под палец, и поршень, в зависимости от полученного фактического размера, поступает на одну из трех вращающихся роликовых раскаток.

После промывки и сушки поршни подъемником *26* передаются в магазин *27*, расположенный, как и контрольные автоматы, в термоконстантном помещении для стабилизации температуры. Через подъемники *26* и *30*, лотки и спиральный спуск *29* поршни поступают в автомат *28* для контроля диаметров юбки и отверстия под палец; на днище проводится клеймение одной из пяти размерых групп по диаметру юбки и одной из четырех групп — по диаметру отверстия. Сортированные по диаметру юбки поршни по лоткам передаются на стол *32* для визуального контроля отсутствия внешних дефектов, рассортировки по 20 группам и укладки поршней в наклонные лотки двух магазинов-распределителей групп *33* и *34*. Контрольный автомат *31* предназначен для работы в случае выхода из строя автомата *28*, а также для перепроверки забракованных поршней. Контрольные автматы обслуживают два комплекса смежных АЛ для механической обработки, и поршни со смежного комплекса поступают на контроль по подъемнику *30*. Консервация и упаковка поршней в бумагу осуществляются партиями по размерным группам. При пропуске одной из групп (порядок выдачи поршней устанавливает оператор) поршни из магазина-распределителя *33* или *34* через подъемник *35* или *36* следуют в автомат *37* для консервации, а далее — в роторный автомат *38* для упаковки в бумагу. Готовые поршни по лотку выдаются на конвейер *39* для укладки в контейнеры. При необходимости поршни (без консервации) могут, минуя автомат *37*, поступать непосредственно на автомат *38* для упаковки.

Комплекс АЛ обслуживают одиннадцать наладчиков, два оператора и шесть контролеров в смену.

18.6. Автоматизация обработки зубчатых колес

Технологический процесс полной обработки на комплексной автоматической линии зубчатых колес двух наименований планетарной передачи легкового автомобиля приведен на рис. 18.12.

На линии применен гравитационный транспорт — на первом участке линии до операции зубонарезания детали катятся по плоскости лотка, на втором — после зубонарезания — торцовой поверхностью по роликам. На первом участке зубчатые колеса из накопителя H_1 с помощью гравитационной системы *Тр* подаются к трем токарным автоматам C_1 и после 100%-ного контроля основных параметров обработки (биения базового торца, размера отверстия и внешнего диаметра) на приборах конроля K_1 через накопитель H_2 направляются на второй участок линии.

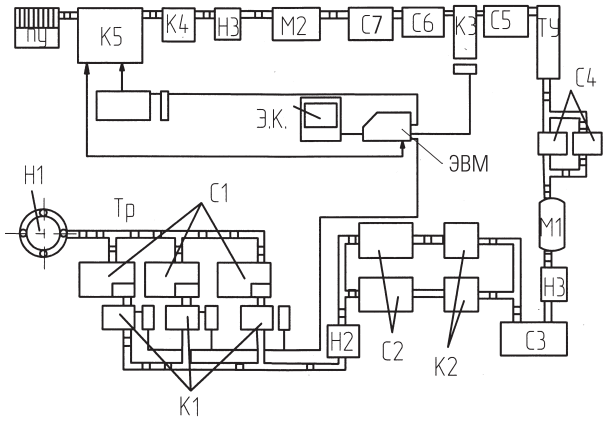


Рис. 18.12. Технологический процесс полной обработки на комплексной автоматической линии:
H_1—H_3 — накопители; C_1—C_7 — станки; K_1—K_5 — контрольные устройства; *Тр* — транспортер; M_1, M_2 — моечные машины; *ТУ* — установка термической обработки; *ПУ* — приемное устройство; *ЭК* — пульт управления

На последующих двух параллельно работающих станках-автоматах C_2 производится зубофрезерование зубьев колес. Пройдя 100%-ный автоматический контроль на приборах K_2 по величине припуска, оставленного под шевингование зубьев, погрешности колебания межцентрового расстояния и направления зуба, годные зубчатые колеса поступают на автомат C_3 для снятия фасок и заусенцев с острых кромок зубьев одновременно с обеих сторон. Далее зубчатые колеса из накопителя H_3 через моечную машину M_1 попадают на операцию шевингования профиля зубьев, осуществляемую на двух зубошевинговальных станках C_4. Пройдя термическую обработку в установке *ТУ*, закаленные зубчатые колеса подвергаются притирке торцов на станке-автомате C_5 с последующим автоматическим контролем зубчатого зацепления и сортировкой их на установке K_3.

После хонингования отверстия на многошпиндельном автомате C_6 зубчатые колеса поступают на операцию холодного прикатывания на станке C_7. Прикатывание осуществляется тремя специальными прикатными зубчатыми колесами с зубьями различной формы. Два прикатных колеса обрабатывают профиль зуба колеса в разных зонах (один ближе к ножке, другой — к головке зуба), а третье колесо — в зоне фаски вершины зуба.

Перед окончательным контролем прикатные зубчатые колеса промывают в моечной машине M_2 и через накопитель H_3 подают в прибор K_4 для контроля параллельности торцов после притирки. После окончательного автоматического контроля в устройстве K_5 и сортировки в зависимости от наличия брака обработанные зубчатые колеса направляются в соответствующие желоба приемного устройства *ПУ*. Все измерительные устройства и контрольные приборы автоматической линии составляют единую систему, управляемую от ЭВМ. Данные контроля высвечиваются на экране *ЭК*. Производительность автоматической линии при 80%-ной загрузке составляет 680 шт./ч.

На рис. 18.13 представлена схема автоматической линии зубофрезерования

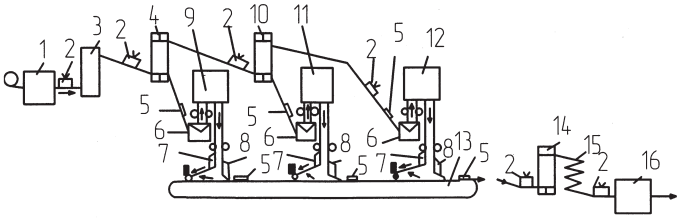


Рис. 18.13. Схема зубофрезерования на автоматической линии одновенцового зубчатого колеса:
1, *16* — моечные машины; *2* — отсекатель; *3* — подъемник; *4*, *10*, *14* — подъемно-раздающие устройства; *5* — детали; *6* — накопитель; *7*, *8* — кантователи; *9*, *11*, *12* — зубофрезерные автоматы; *13* — ленточный конвейер; *15* — пружина

одновенцового зубчатого колеса ($Z = 35$, $m_n = 4$ мм, $b = 26{,}5$ мм, $\beta = 22^{\circ}10'51''$) коробки передач грузового автомобиля.

Автоматическая линия состоит из трех специальных зубофрезерных станков, транспортной системы и двухпоточной моечной машины. Детали, поступающие с токарно-хонинговальной автоматической линии, через моечную машину *1* по лотку через отсекатель *2* подаются в подъемник *3*, а затем перемещаются в подъемно-раздающее устройство *4*. Подъемно-раздающие устройства *4* и *10* через отсекатель *2* обеспечивают передачу деталей *5* по лотку скольжения в накопитель каждого из трех зубофрезерных автоматов *9*, *10* и *12*. Накопитель *6*, соединяя по две детали в пакет, направляет их на операцию зубофрезерования. Зубонарезание производится в автоматическом цикле двухзаходной червячной фрезой из стали Р9К10 за один рабочий ход со скоростью 60 м/мин и подачей $S_0 = 2{,}28$ мм/об. После цикла зубофрезерования зубчатые колеса поочередно через кантователи *7* и *8* с зубофрезерных автоматов поступают на ленточный конвейер *13*, а затем через подъемно-раздающее устройство *14*, отсекатель *2* попадают в накопитель и моечную машину *16*. После мойки зубчатые колеса направляются на операцию шевингования. Контроль параметров зубьев обработанных колес осуществляется выборочно за пределами автоматической линии. Производительность линии составляет 39 шт./ч при коэффициенте загрузки 0,75.

18.7. Роторные автоматические линии

Роторные автоматические линии по структурному построению существенно отличаются от рассмотренных АЛ. Роторные линии комплектуются (рис. 18.14) из роторных автоматов *1*, на которых обработка заготовок выполняется в процессе непрерывного транспортирования их совместно с режущим инструментом. Таким образом, главной особенностью роторных линий является совмещение во времени транспортирования заготовок и их обработки. Заготовки ко всем роторным автоматам перемещаются транспортными роторами *2*.

Траектория транспортного перемещения заготовки имеет замкнутую форму (обычно это окружность). На рис. 18.15 показана развертка барабана роторного автомата. На инструментальном барабане *2* установлены инструментальные шпиндели *1* (с шагом h), соосно с которыми на транспортном барабане *3* расположены обрабатываемые заготовки *4*. Скорость транспортного *3* и инстру-

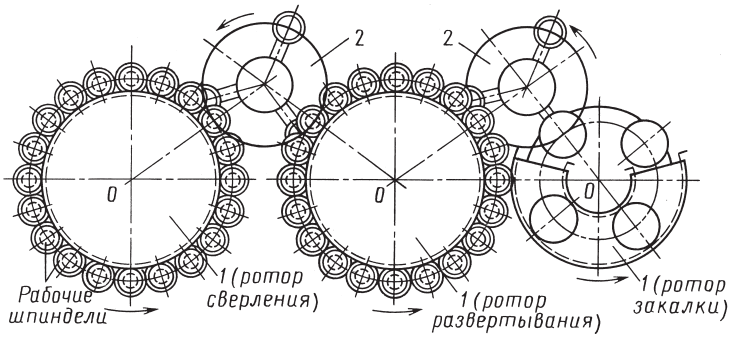


Рис. 18.14. Принципиальная схема роторной линии

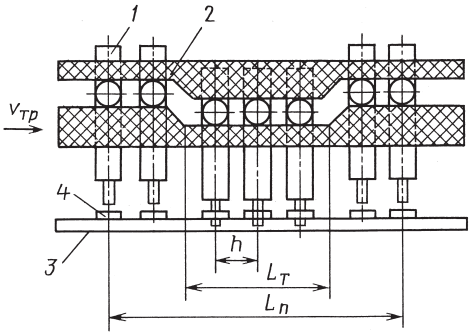


Рис. 18.15. Схема роторного автомата (развертка барабана)

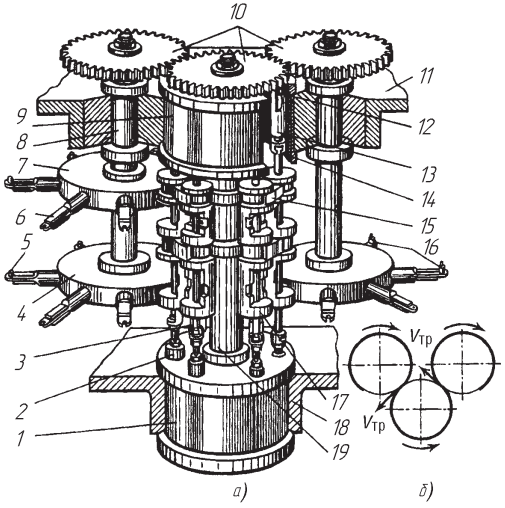


Рис. 18.16. Типовая единичная группа роторной линии для сборки двух деталей: *а* — схема; *б* — проекция движения потока предмета обработки на горизонтальную плоскость; *1* — блок нижней системы подвода сборочного ротора; *2* — ползуны нижнего привода; *3* — нижний шток инструментального блока; *4* — нижний диск транспортного (загрузочного) ротора; *5* — собираемые элементы; *6* — клещевые захваты; *7* — верхний диск транспортного (загрузочного) ротора; *8* — вал транспортного ротора; *9* — блок верхней системы привода сборочного ротора; *10* — зубчатая передача транспортного вращения роторов; *11* — верхняя часть станины; *12* — торцовый кулачок верхней системы привода; *13* — ползун верхней системы привода; *14* — пазовый кулачок верхней системы привода; *15* — блокодержатели; *16* — собранные детали; *17* — инструментальный блок; *18* — нижняя часть станины; *19* — основной вал сборочного ротора

ментального *2* барабанов одинакова. При вращении диска с транспортной скоростью $v_{тр}$ инструментальный шпиндель *1* обрабатывает заготовку *4* на пути транспортирования $L_т$, который меньше длины развертки $L_п$ инструментального барабана.

Все инструментальные шпиндели оснащены одинаковыми инструментами и выполняют только одну технологическую операцию. Каждый инструментальный шпиндель соответствует шпинделю изделия. Технологическое время на обработку одного изделия: $T = L_т/v_{тр}$.

Полный цикл работы один инструментальный шпиндель *1* совершает за время $T_п = (L_п - h)/v_{тр}$ (т.е. за один оборот барабана). Число изделий, обработанных за один оборот барабана, равно числу шпинделей, т.е. время на обработку одного изделия $T_1 = h/v_{тр}$. На роторном автомате путем подбора скорости $v_{тр}$ перемещения транспортного диска и шага h (расстояния между шпинделями) можно получить заданную весьма высокую производительность. В роторных станках время на загрузку-выгрузку совмещено со временем обработки. На рис. 18.16 показана типовая единичная группа автоматической роторной линии для сборки двух деталей.

18.8. Переналаживаемые автоматические линии

Переналаживаемые АЛ групповой обработки предназначены для изготовления двух—десяти, а иногда и более заранее известных аналогичных по конструкции, служебному назначению и технологии обработки, близких по размерам деталей в условиях крупносерийного и массового производства. Эти линии используют при необходимости одновременного выпуска нескольких модификаций деталей и узлов или машин. Обработка различных заготовок может вестись как параллельно, так и последовательно после осуществления автоматической или ручной переналадки. Возможность переналадки расширяется за счет использования специальных станков с ЧПУ. Известны следующие варианты компоновок переналаживаемых АЛ.

• *Переналаживаемые АЛ с гибким транспортным потоком*. В этом случае для каждого типоразмера на линии предусматривают определенные рабочие позиции, сходные по технологическому процессу и по набору режущего инструмента. Каждая деталь имеет свой транспортный маршрут.

• *Переналаживаемые АЛ с последовательной обработкой заготовок различных типоразмеров*. Основное технологическое и транспортное оборудование, так же как и система управления, переналаживаемые. Все заготовки имеют сходный технологический процесс при одинаковом числе рабочих позиций. Время переналадки сравнительно велико, вследствие чего обработка ведется крупными партиями.

• *Переналаживаемые АЛ с фиксированным транспортным потоком деталей.* В этом случае транспортные устройства для всей группы обрабатываемых заготовок не подлежат переналадке (в основном это линии с обработкой на приспособлениях-спутниках). Переналадка станков реализуется быстро, в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Затраты на оснастку также сравнительно невелики, но число типоразмеров в группе обрабатываемых заготовок, как правило, не превышает двух—четырех. Переналаживаемые линии получили широкое распространение для групповой обработки блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, отличающихся только размерами, числом цилиндров и крепежных отверстий.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

Гибкие производственные системы

Гибкими производственными системами (ГПС) называют совокупность металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования (транспортного, накопительного, погрузочно-разгрузочного и т.д.), работающего в автоматическом режиме и с единой системой управления в условиях многономенклатурного производства. Основные составляющие компоненты ГПС приведены на рис. 19.1.

Как правило, оборудование имеет системы числового программного управления (ЧПУ) с использованием ЭВМ различного уровня. Особенность ГПС заключается в том, что ее оборудование в течение заданного периода времени должно работать в автоматическом режиме, т.е. с ограниченным участием обслуживающего персонала (так называемый безлюдный режим), а переналадка оборудования на изготовление новой продукции осуществляется в автоматизированном (с ограниченным участием человека) режиме.

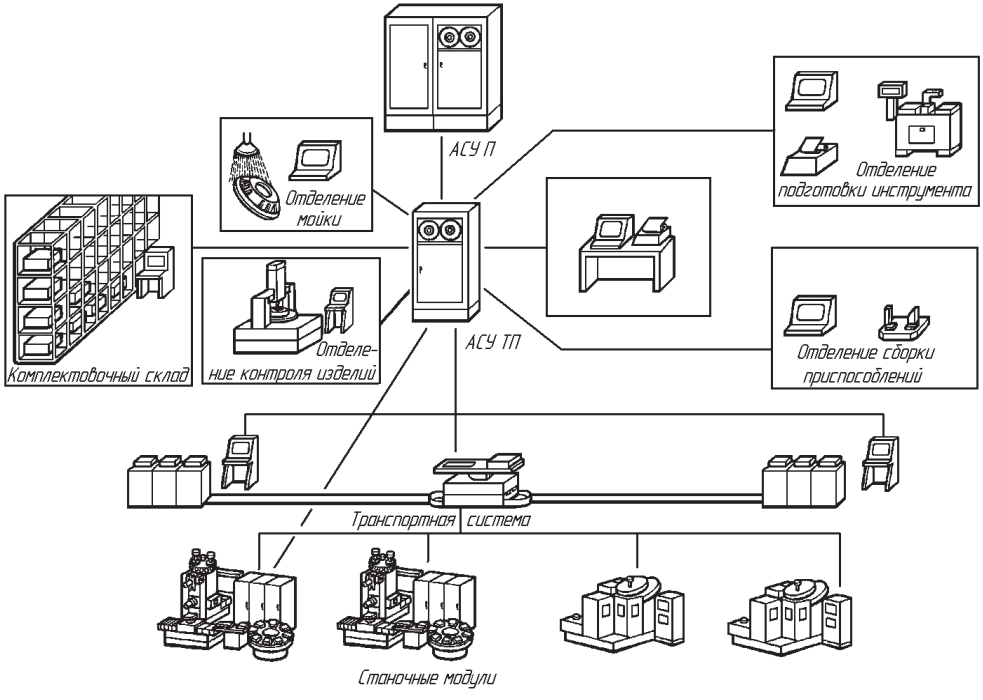


Рис. 19.1. Составляющие компоненты ГПС

19.1. Классификация и структурные схемы ГПС

Гибкие производственные системы можно классифицировать по следующим признакам: организационному, комплексности изготовления деталей, виду обработки, разновидности обрабатываемых изделий, уровню автоматизации. По организационному признаку ГПС подразделяют на гибкую автоматизированную линию (ГАЛ), гибкий автоматизированный участок (ГАУ) и гибкий автоматизированный цех (ГАЦ).

1. Отличие ГАЛ от традиционных автоматических линий (см. гл. 18) заключается в том, что на ГАЛ можно обрабатывать детали широкой номенклатуры. Особенностью компоновки ГАЛ является расположение технологического оборудования (станков с ЧПУ, гибких производственных модулей) в принятой последовательности технологических операций. В ГАЛ транспортные системы перемещают обрабатываемые изделия только по заранее определенным маршрутам.

2. Гибкий автоматизированный участок (ГАУ) в отличие от ГАЛ позволяет изменять последовательность технологических операций, благодаря этому достигается максимальная загрузка оборудования. В состав ГАУ и ГАЛ могут входить роботизированные технологические комплексы (РТК), включающие в себя технологическое оборудование, промышленный робот и дополнительные средства оснащения, например, магазин заготовок и инструментальные магазины.

3. В состав ГАЦ могут входить ГАЛ, ГАУ, роботизированные технологические линии и участки, а также отдельное технологическое и вспомогательное оборудование: ГПМ, отдельные станки с ЧПУ и др. По назначению ГПС (ГАУ) подразделяются на операционные, предметные и узловые, что характеризует комплексность изготовления изделий.

Операционные ГАУ служат для выполнения однородных технологических операций, являющихся частью комплексного технологического процесса обработки определенной группы изделий (заготовительные ГАУ, сварочные, сборочные, механообрабатывающие, окрасочные, ГАУ для нанесения покрытий и т.п.).

Предметные ГАУ — системы машин, на которых полностью (комплексно) обрабатывается (от заготовки до готового изделия) определенная группа изделий, например, валов, втулок, корпусов, зубчатых колес.

Узловые ГАУ — системы машин, продуктом производства которых являются комплекты деталей и узлы определенных типоразмеров. Комплекты деталей дополняются со склада недостающими покупными деталями, а затем поступают на сборочный участок. Операционные ГАУ входят в состав предметных, а последние — в узловые.

В структуре типовой ГПС необходимы три группы компонентов (подсистем): технологическая, управления и подготовки производства. Каждая из указанных групп компонентов является человекомашиной, в которой наиболее трудоемкие функции выполняются средствами вычислительной техники, а творческие функции — конструкторами, технологами и организаторами производства, работающими в режиме диалога с ЭВМ. Технологическая подсистема представляет собой совокупность основного и вспомогательного технологического оборудования и реализованного на нем технологического производственного про-

цесса, который может быть механообрабатывающим, сборочным, литейным, кузнечно-прессовым, сварочным, гальваническим и т.д. Производственные функции выполняются с помощью специфических для каждого вида производства технических средств, построенных на модульной основе.

Подсистема управления ГПС имеет иерархически организованную структуру. Она реализует функции управления технологическим процессом и оборудованием, оперативного и долгосрочного планирования, учета хода производства и обеспеченности производства всеми необходимыми средствами контроля и диагностирования работы ГПС, подготовки и передачи производственной информации в смежные управляющие службы предприятия.

Подсистема подготовки производства выполняет в полном объеме или частично функции САПР и АС ТПП.

Производственная гибкость ГПС определяется технологической, структурно-организационной и параметрической гибкостью. При этом под гибкостью понимают приспосабливаемость ГПС к изменениям, связанным с выполнением производственной программы. Технологическая гибкость может быть оценена коэффициентом запуска нового изделия, показывающего, во сколько раз затраты на запуск очередного изделия в условиях ГПС меньше, чем при обычной технологии. Технологическая гибкость характеризуется номенклатурой изделий и переналаживаемостью оборудования, режущего инструмента, оснастки.

Структурно-организационная гибкость в значительной мере определяет структуру ГПС, вариантность выбора последовательности обработки, возможность выполнять обработку на другом оборудовании при выходе из строя какого-либо станка или устройства, возможность наращивания ГПС на основе модульного принципа. При выборе структуры ГПС обычно приходится принимать компромиссное решение, так как возникает противоречие между стремлениями максимально загрузить оборудование и обеспечить минимальный производственный цикл. Структурно-организационная гибкость в наибольшей степени обеспечивается интеграцией ГПС, САПР, АС ТПП и АСУП, а также унификацией используемых заготовок, режущего инструмента и оснастки.

Гибкость ГПС отражает также способность системы сохранять в заданных пределах основные параметры (производительность, экономическую эффективность, надежность и точность функционирования и др.) при переходе из одного устойчивого состояния в другое в соответствии с целью — изменение объекта производства. Поэтому можно ввести понятие параметрической (т.е. динамической) гибкости, которая характеризуется показателями переходного процесса в ГПС. К таким показателям относятся время, скорость и точность перехода ГПС в новое устойчивое состояние.

Анализ динамических показателей ГПС позволяет рассматривать гибкость как свойство, обеспечивающее наилучшее качество переходного процесса и поддержание нового состояния в условиях изменения номенклатуры изделий или вывода из работы функциональных компонентов ГПС. Как динамическую техническую систему ГПС можно характеризовать в математической форме входной и выходной функциями, внешним возмущением и временем переходного процесса. Передаточная функция при изменении объекта производства отражает интенсивность изменения выходной функции системы в зависимости от

задаваемой цели. Передаточная функция по внешним воздействиям определяет устойчивость системы к внешним возмущениям в установившемся режиме. Физический смысл запаса устойчивости системы заключается в установлении предельных параметров изделий, при которых их обработка и сборка возможны без дополнительной переналадки или изменения состава компонентов ГПС.

Под организационно-производственной структурой ГПС механообработки понимают: заданную номенклатуру обрабатываемых деталей, программу производства и возможные варианты технологического процесса изготовления каждой партии деталей; организационный тип производства; качественный и количественный состав основного (технологического) и вспомогательного (транспортного, накопительного, манипулирующего, контролирующего и т.д.) оборудования; компоновку и размещение оборудования, структуру материальных потоков; стратегию управления системой в целом и отдельными элементами.

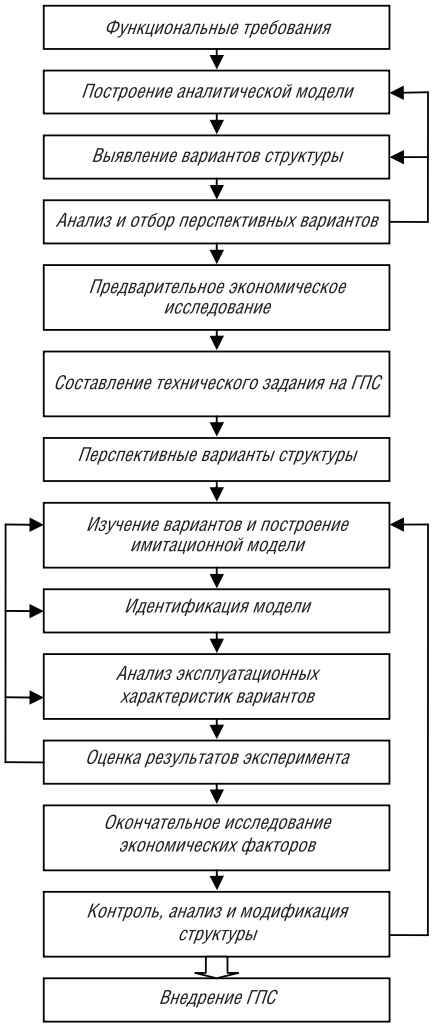


Рис. 19.2. Схема организации проектирования структуры ГПС

Проектирование организационно-производственной структуры ГПС заключается в принятии решений по каждому из указанных пунктов. Сложность этой проблемы состоит, прежде всего, в многовариантности ее решений, которая возникает из-за большого количества допустимых сочетаний различных технологических процессов не только для разных, но и для одинаковых типов деталей, из-за возможности использования различного оборудования. Эти обстоятельства становятся особенно существенными, если учесть высокую стоимость каждой ГПС и соответственно те убытки, которые приносят недостаточно обоснованные проектные решения.

На рис. 19.2 приведена укрупненная схема организации проектирования структуры ГПС. Все этапы проектирования допускают автоматизацию на базе математического моделирования и широкого применения средств вычислительной техники.

На этапах предпроектных исследований и составления технического задания, заканчивающихся предварительным экономическим исследованием, технологический процесс и состав оборудования точно не определены; при этом многократно повторяются расчеты по проверке

и сопоставлению различных вариантов. Исходные данные для расчетов задаются приближенно в виде предварительных (экспертных) оценок или по аналогии с близкими по типу производствами.

Так как детализация исходных данных на этих этапах проектирования еще невелика, то в расчетах используются главным образом аналитические модели, которые создаются с помощью уравнений баланса потребных и имеющихся мощностей оборудования или с помощью статистических методов теории массового обслуживания. К достоинствам таких моделей относятся доступность понимания их содержания, небольшой объем вводимой информации, невысокие требования к ее точности и малые затраты времени ЭВМ на каждое решение. Естественно, точность моделирования не превышает точности исходных данных.

В моделях баланса мощностей оборудования обычно считаются заданными допустимые диапазоны значений нормативов времени на обработку деталей и эффективные фонды времени работы предполагаемого оборудования ГПС. С этими данными могут быть сформулированы различные задачи, например:

- определить программу выпуска деталей при заданной структуре оборудования;
- определить потребное количество оборудования каждого типа, необходимое для выполнения заданной программы производства;
- выбрать вариант закрепления оборудования для выполнения конкретных технологических операций и т.д.

Модель баланса мощностей оборудования может быть представлена в форме равенства. Если она представляет собой алгебраическое уравнение, то решение находится обычными алгебраическими методами. Если эта модель представлена системой неравенств, то она дополняется целевой функцией, и рассматривается задача нахождения оптимального решения.

Методы теории массового обслуживания дают возможность учесть среднестатистически динамику поведения производственной системы. Получаемые модели называют моделями сетей очередей, в которых ГПС рассматривается как множество рабочих станций с циркулирующими между ними заявками на обслуживание. Пропускная способность транспортной системы считается неограниченной. Заявки представляют собой отдельно взятые детали или партии деталей, которые образуют очереди к рабочим станциям. Движение деталей в производстве характеризуется:

- математическим ожиданием числа обработанных деталей в единицу времени; среднестатистическим числом деталей в очереди к каждой рабочей станции;
- математическим ожиданием времени обслуживания одной заявки, которое принимается за среднюю длительность цикла обработки детали;
- объемом незавершенного производства.

Точность моделирования сетями очередей выше, чем балансовыми методами, однако математический аппарат существенно сложнее.

Итак, на рассматриваемых этапах проектирования структуры ГПС предварительные расчеты позволяют достаточно быстро сделать оценку нескольких вариантов структуры, отобрать из них перспективные для дальнейших исследова-

ний, выявить узкие места и приближенно определить их влияние на важнейшие характеристики системы, оценить усредненные потребности в ресурсах.

Эти результаты предоставляют возможность на этапах окончательного проектирования с достаточной точностью выбрать оптимизированные варианты структуры ГПС. К этому моменту после предварительных исследований уже отобраны один или несколько наилучших вариантов организационно-производственной структуры проектируемой системы. Для каждого из них определены типы станков, средства транспортирования, их ориентировочные характеристики. Теперь возможно построение имитационных моделей с высоким уровнем детализации.

Моделирование рабочих станций детализируется до уровня отдельных станков, промышленных роботов, манипуляторов, накопителей, позиций загрузки и разгрузки. Процесс транспортирования деталей и оснастки описывается с точностью до различий во времени доставки их к различным рабочим станциям. В модель включаются все имеющиеся ограничения (количество сменных палет для установки деталей, объемы накопителей, особенности управления транспортом и т.д.).

Имитационное моделирование заключается в разработке таких программ для ЭВМ, которые содержат описание физических объектов ГПС и правил их поведения во всех возможных ситуациях. Эти программы — аналог ГПС, их можно использовать при проведении экспериментов вместо самих объектов. Результаты будут соответствовать действительности в той мере, в какой имитационная модель адекватна физической реальности.

Имитационные модели позволяют практически с любой точностью воспроизвести динамику поведения ГПС, включая переходные процессы. К достоинствам таких моделей следует отнести также возможность анализа взаимодействия между оборудованием ГПС и ее системой управления, возможность определения необходимого количества инструмента, оснастки и возможность решения других подобных задач, сложных при аналитическом представлении.

Высокая стоимость разработки имитационных моделей привела к необходимости создания стандартного программного обеспечения имитационного моделирования ГПС. Наиболее распространенными в настоящее время являются проблемно-ориентированные имитаторы модульного типа. Разрабатываются универсально-модульные имитационные программы.

19.2. Структурно-компоновочные схемы ГПС для механической обработки

Гибкие производственные системы для механической обработки деталей могут охватывать как отдельные операции технологических процессов, так и всю механообработку комплексно. Соответственно ГПС механообработки подразделяют на операционные и комплексные.

Операционные ГПС создаются на базе имеющихся на предприятиях и серийно выпускаемых станков с ЧПУ для отдельных видов технологических операций: токарных, фрезерных, шлифовальных, зубообрабатывающих, расточных и т.д. В таких системах станки с ЧПУ оснащаются промышленными роботами, накопителями деталей и управляющими вычислительными комплексами.

Комплексные ГПС создаются либо на базе типовых разработок, применяемых во многих отраслях машиностроения, либо в качестве специальных разработок для отдельных видов изготовляемых деталей: типа тел вращения, корпусных деталей, для зубчатых колес и т.д. В этом случае имеются более широкие возможности по применению прогрессивных технологических процессов высокоскоростной механообработки, высокопроизводительных гибких производственных модулей, новых конструктивных решений и организационно-производственных структур.

Современная ГПС представляет собой сложную совокупность различного основного и вспомогательного технологического оборудования, транспортно-складской системы, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, автоматизированных систем управления и систем обеспечения функционирования. Для решения различных технологических задач ГПС может комплектоваться различным оборудованием, например, однотипными взаимозаменяемыми многоцелевыми станками с ЧПУ, разнотипными специализированными станками с ЧПУ (фрезерными, расточными станками, станками для снятия заусенцев и т.п.).

Под структурной схемой ГПС следует понимать расположение компонентов ГПС, обеспечивающее наиболее рациональное функционирование всей системы. При этом к компонентам ГПС относят технологическое оборудование, транспортную систему, склады, управляющее оборудование и т.п. На рис. 19.3 показана структурно-компоновочная схема ГПС, где выделены основные составляющие ее компоненты. Изменение состава и взаимодействия компонентов ГПС влияет на ее структуру.

Структурная схема ГПС определяется типом обрабатываемых деталей, технологическим процессом их изготовления. Например, корпусные детали обрабатываются обычно в приспособлениях-спутниках, а тела вращения нет; длительность обработки корпусных деталей существенно больше, чем тел вращения, поэтому различны внутриучастковые запасы заготовок и устройства для их хранения; для обработки корпусных деталей нужна более широкая номенклатура режущего инструмента и технологической оснастки, чем при обработке тел вращения и т.д.

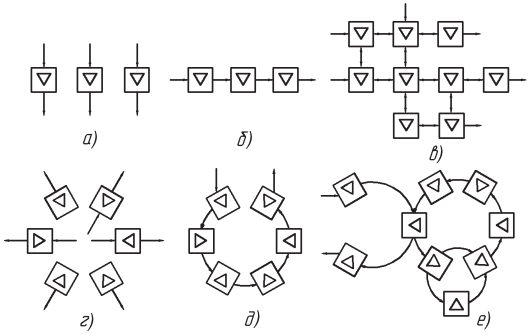


Рис. 19.3. Типовые компоновочные схемы расположения оборудования ГПС: *а* — параллельная; *б* — линейная однорядная; *в* — линейная многорядная (сетевая); *г* — звездообразная; *д* — круговая; *е* — роторная (*а—в* — разомкнутое положение оборудования; *г—е* — замкнутое положение оборудования)

В зависимости от схемы расположения оборудования в ГПС перемещение заготовок и других компонентов материального потока может быть организовано по жесткому маршруту, что характерно для ГАЛ (см. схемы на рис. 19.3, *а—в*), или по изменяемому (гибкому) маршруту (в ГАУ). При комбинированном потоке на отдельных участках ГПС маршрут может не изменяться, а на других может быть изменен.

Выбор маршрута перемещения заготовки зависит от того, последовательно она обрабатывается или с возвратом на склад после выполнения операции, что обусловливает прямую или косвенную (через склад) связь оборудования между собой. При прямой связи оборудования детали с помощью перемещающихся средств и подающих устройств транспортируются непосредственно со склада к оборудованию. После обработки на одном станке деталь подается к другому, минуя склад (крупносерийное производство). При косвенной связи детали переходят от одного станка через склад к другому станку (при относительно короткой длительности цикла обработки). Достоинства косвенной связи:

- обеспечивается более полная загрузка технологического оборудования;
- весь производственный процесс контролируется и управляется от центрального пульта управления.

Требование производственной гибкости — одно из основных для ГПС механообработки, что во многом определяет область эффективного применения типовых ГПС.

Создание ГПС в условиях мелкосерийного производства деталей широкой номенклатуры является технически более сложной проблемой, чем создание ГПС для изготовления деталей ограниченной и тем более малой номенклатуры в условиях серийного и крупносерийного производства. При производстве деталей относительно широкой номенклатуры требуются более сложное быстропереналаживаемое оборудование с широкими технологическими возможностями, более развитые система управления и программное обеспечение, совершенная система технологической подготовки производства.

Уровень автоматизации технологического оборудования ГПС для мелкосерийного производства определяется малыми партиями запуска разнообразных деталей в производство, непостоянством видов заготовок и применяемых материалов, наличием внеочередных заказов и рядом организационных особенностей. Все это существенно затрудняет оптимизацию разнообразных технологических процессов, снижает их устойчивость и надежность, затрудняет полное исключение из них человека. Автоматизировать такие операции, как контроль размеров получаемых деталей, контроль за состоянием режущего инструмента, ввод коррекций в систему управления, общий контроль за многочисленными процессами обработки и состоянием оборудования, технически сложно. Именно поэтому в мелкосерийном производстве ГПС создают на основе станков с ЧПУ с ручной или механизированной загрузкой. Один оператор обычно обслуживает два—четыре таких полуавтомата. Доставка к рабочим местам заготовок, режущего инструмента и оснастки выполняется автоматически. Автоматизированные системы технологической подготовки производства, оперативного планирования, диспетчеризации и учета хода производства в этом случае наиболее эффективны.

В серийном производстве имеются условия для дальнейшего повышения уровня автоматизации ГПС и сведения до минимума или даже полного исключения участия человека в технологических процессах. Уменьшение номенклатуры обрабатываемых деталей и увеличение размера партии запуска позволяют более тщательно отработать и отладить технологические процессы, управляющие программы для систем ЧПУ, режущий инструмент. Эти ГПС создают на основе автоматически переналаживаемых гибких производственных модулей. Несмотря на относительно высокую стоимость ГПМ, их применение в условиях серийного производства эффективно благодаря высокой производительности. Один наладчик может в течение дневной смены обслужить до десяти и более ГПМ, которые две последующие смены будут продолжать работать в автоматическом режиме. Для крупносерийного производства целесообразно использование гибких автоматизированных линий, состоящих из специализированных переналаживаемых станков с многошпиндельными сменными коробками, промышленных роботов и автоматизированной транспортно-складской системы. Управление станками осуществляется от систем ЧПУ и программируемых контроллеров.

Еще одно важнейшее требование к ГПС — надежность функционирования всех подсистем и оборудования. Значимость этого требования тем выше, чем выше уровень автоматизации ГПС. Надежность ГПС определяется как свойство системы, обусловленное ее безотказностью в работе, долговечностью, ремонтопригодностью и обеспечивающее выполнение заданных функций. Одним из косвенных вероятностных показателей безотказной работы компонента системы является среднее значение продолжительности работы между отказами. Однако повышение надежности ГПС в целом только за счет ужесточения требований к отдельным ее компонентам в части безотказной наработки недостаточно. Не менее важными критериями являются общая долговечность (заданный технический ресурс) и ремонтопригодность. Под ремонтопригодностью понимают свойство системы, выражающееся в приспособленности к восстановлению исправности и поддержанию заданного технического ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. Ремонтопригодность количественно оценивается трудоемкостью восстановления работоспособности, т.е. затратами труда и средств на предупреждение и устранение неисправностей. Эффективным средством предупреждения неисправностей и отказов в ГПС становятся системы технического диагностирования.

В мелкосерийном производстве надежная работа ГПС обеспечивается с участием человека, контролирующего технологические процессы и работу оборудования. Операторы вносят в производственный процесс необходимые коррективы или своевременно прерывают его, не допуская опасных, с точки зрения качества изделий и аварийности, ситуаций.

В серийном и крупносерийном производстве большинство оборудования ГПС работает в автоматическом режиме. В этом случае необходимо автоматическое поддержание его надежной работы, так как отказы приводят к длительному простою (особенно в безлюдные вечернюю и ночную смены). Надежность работы ГПС определяется, прежде всего, надежностью автоматических систем обеспечения заготовками, режущим инструментом и технологической оснасткой, их высоким качеством, безотказностью функционирования всех технических и

программных компонентов, высоким качеством управляющих программ и другой управляющей информации.

Гибкая производственная система не должна останавливаться и прекращать выпуск продукции при выходе из строя и останове отдельных ГПМ и даже целых подсистем. Это обеспечивается тем, что каждый ГПМ может автономно функционировать в автоматическом режиме в течение достаточно длительного времени. ГПМ может также функционировать и в полуавтоматическом режиме, например при выходе из строя промышленного робота, измерительных устройств, транспортной системы. Наконец, при отказе управляющего вычислительного комплекса ГПМ может продолжать работать, так как ввод и редактирование управляющих программ возможны с пульта системы ЧПУ на рабочем месте. Естественно, во всех случаях отказа компонентов ГПС ее уровень автоматизации и ее функциональные возможности резко снижаются.

В целях обеспечения надежности транспортно-складской системы, которая также обычно имеет модульную структуру, предусматривается возможность управления ею как от ЭВМ, так и в полуавтоматическом и ручном режимах, возможность извлечения и доставки к ГПМ находящихся в ней заготовок, инструмента и оснастки с помощью цеховых транспортных средств.

В общем случае при внедрении ГПС имеет место следующие основные статьи экономии: прямые расходы на рабочую силу, расходы на обслуживающий персонал, транспортно-складские расходы, расходы на обеспечение качества продукции, сокращение незавершенного производства, товарных запасов и расходов на материалы.

При переходе к ГПС в 2…3 раза повышается эффективность использования оборудования, в 6…7 раз сокращается производственный цикл механообработки. Объединение автономно работающих станков с ЧПУ в ГПС позволяет поднять коэффициент загрузки станков до 0,85…0,9 по сравнению с 0,4…0,6, а коэффициент сменности их работы — до 2,5 по сравнению с 1,3…1,6.

19.3. Гибкие производственные модули (ГПМ)

Гибкий производственный модуль является основной составной частью ГПС. ГПМ — это единица технологического оборудования, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая весь цикл работы, связанный с изготовлением изделий, и имеющая возможность быть встроенной в ГПС. Кроме обработки деталей, ГПМ выполняют в автоматическом режиме накопления заготовок загрузку заготовок в зону резания, выгрузку обработанных деталей, частичный или полный контроль точности обработки и другие вспомогательные операции. В типовой механообрабатывающий ГПМ входят многошпиндельный станок с ЧПУ и робот, управляемые от ЭВМ, накопитель заготовок и обработанных деталей и вспомогательные устройства (устройства для удаления стружки с базовых поверхностей, устройства для контроля износа инструмента и др.).

Непременным качеством модуля является возможность встраивания его в ГПС, вследствие чего он должен иметь стандартные сопрягающие устройства, позволяющие ему состыковываться с автоматизированной транспортно-

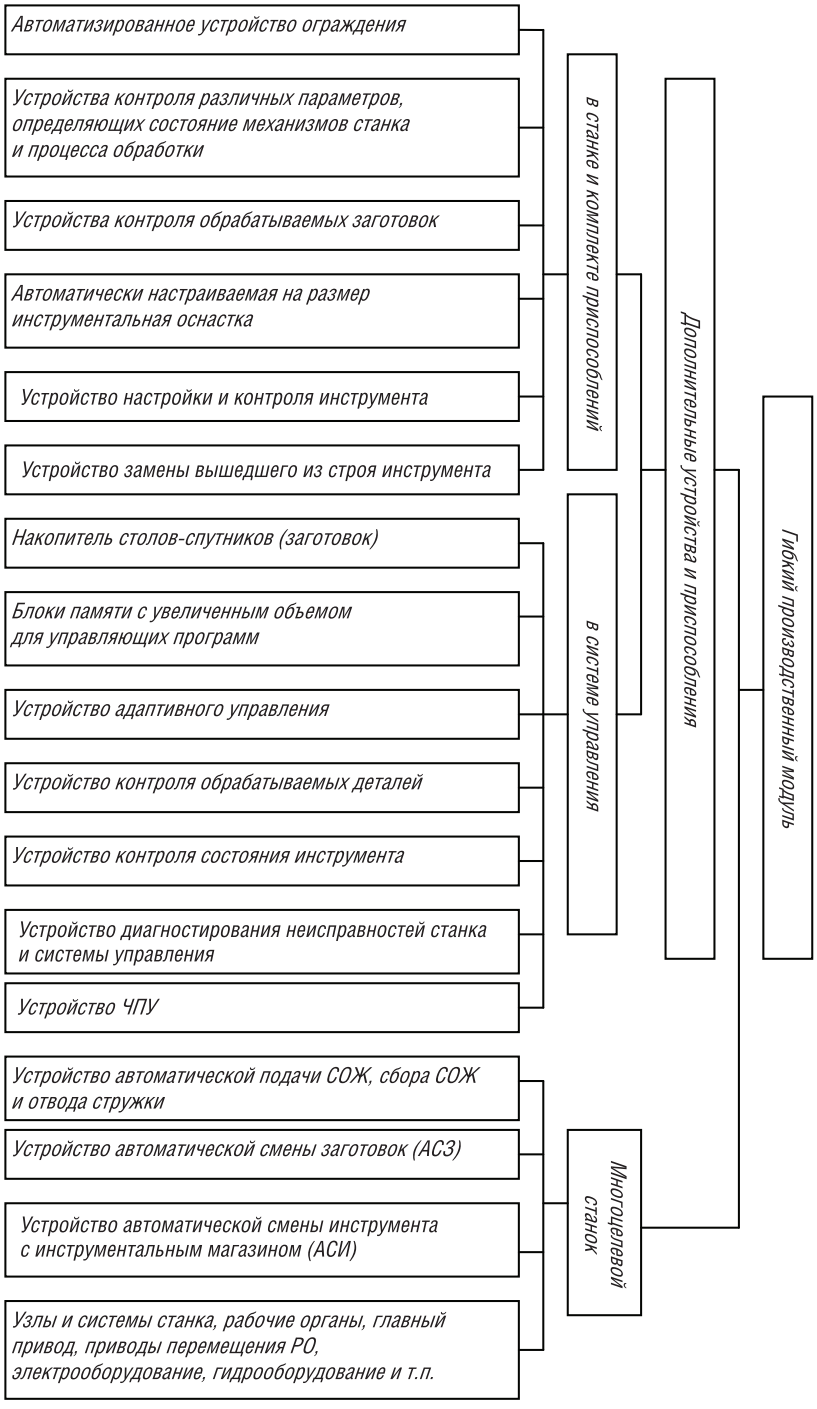


Рис. 19.4. Структура гибкого производственного модуля

складской системой (АТСС), с центральной управляющей ЭВМ, а также отдельными системами ЧПУ станков, роботов, самоходных тележек.

На рис. 19.4 представлена структура гибкого производственного модуля, в состав которого помимо многоцелевого станка, осуществляющего обработку, входят дополнительные устройства для реализации следующих основных функций:

• автоматизации переналадки, осуществляемой в результате наличия устройства автоматической смены инструмента и заготовок с накопителями значительной емкости;

• самодиагностирования с помощью устройства ЧПУ, которое сообщает диагностическую информацию как от датчиков, расположенных на станке, так и всех компонентов самого управляющего устройства, и реагирует на нее заранее запланированными действиями, а также индикатирует возникшие аномалии;

• автоматизации контроля над технологическим процессом;

• контроля службы, износа или повреждения инструмента, точности обработки, величины нагрузки приводов рабочих органов и др.

На рис. 19.5 в качестве примера показан модуль для механической обработки корпусных деталей. Шпиндельная бабка станка установлена в портальной стой-

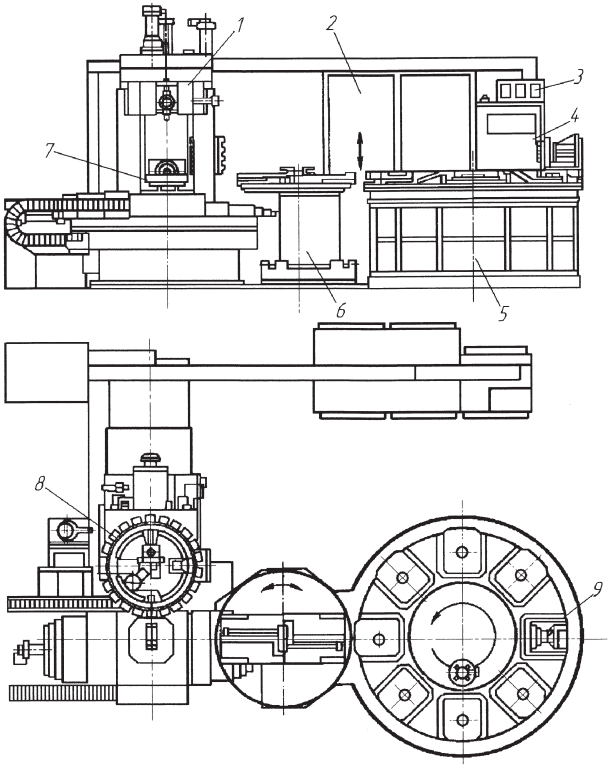


Рис. 19.5. ГПМ для механической обработки корпусных деталей:
1 — сверлильно-фрезерно-расточной многоцелевой станок с ЧПУ; *2* — электрооборудование; *3* — контрольно-измерительная система; *4* — система ЧПУ; *5* — накопитель столов-спутников с обрабатываемыми деталями; *6* — устройство смены столов-спутников; *7* — стол-спутник; *8* — инструментальный магазин; *9* — устройство замены инструмента в магазине

ке. Восьмиместный круговой накопитель *5* столов-спутников обеспечивает загрузку модуля обрабатываемыми заготовками на всю рабочую смену. Наличие столов-спутников контролируется автоматически с помощью датчиков. Между рабочим столом станка и накопителем размещено двухпозиционное поворотное устройство *6* смены спутников. Самостоятельный узел *9* (специальный барабан, содержащий 10 инструментов) представляет собой устройство замены режущего инструмента в магазине *8* станка по заданной программе, что позволяет увеличить набор используемого инструмента, так как емкость инструментального магазина (30 инструментов) не всегда достаточна для длительной работы модуля в составе ГПС. По команде от системы управления устройство передается из накопителя на рабочий стол станка. Затем стол перемещается, конический хвостовик барабана вводится в шпиндель станка и зажимается. Стол станка со спутником барабана возвращается в исходное положение, а барабан с инструментом остается в шпинделе.

Далее шпиндельная бабка с барабаном поднимается до зоны действия манипулятора смены инструмента из барабана в магазин станка и осуществляется обратная перестановка ненужного инструмента. При завершении замены инструмента шпиндельная бабка с барабаном опускается, барабан закрепляется в своем спутнике, освобождается из шпинделя и возвращается в накопитель.

Контрольно-измерительная система содержит измерительную головку индуктивного типа, преобразователь аналоговых сигналов, микропроцессор и узел ввода корректирующей информации в систему ЧПУ. Измерительная головка в нерабочем состоянии расположена в инструментальном магазине. По программе она устанавливается автоматически в шпиндель вместо инструмента. Контроль размеров осуществляется опять же по программе наличием контакта между щупом измерительной головки и соответствующими поверхностями детали. Перемещения детали при контроле ее размеров, прием сигналов измерения, обработка этих сигналов и выдача корректирующих воздействий на приводы обеспечиваются с помощью системы ЧПУ.

Технические характеристики ГПМ. Технологические возможности и технический уровень ГПМ определяются: возможностью обработки, производительностью, точностью, надежностью, удобством обслуживания, массой заготовок, занимаемой площадью, оснащенностью системами обеспечения функционирования при работе в малолюдном режиме и возможностью стыковки с транспортными системами и другими станками, входящими в состав ГПС. Большинство показателей определяется станочным оборудованием, используемым в ГПМ.

На рис. 19.6 приведены основные типы компоновок станков, входящих в ГПМ, предназначенных для обработки корпусных деталей. Стойка *1* с перемещаемой по ней шпиндельной бабкой *2* устанавливается либо неподвижно (схема *а*), либо перемещается по станине *3* (схема *б*). Поворотный стол *5* со спутником *6* может устанавливаться на подвижное (схема *а*) или неподвижное (схема *б*) основание. Если же стойка *1* с помощью промежуточных салазок *7* перемещается по двум взаимно-перпендикулярным осям, то поворотный стол *5* выполняется неподвижным (схема *в*). При поворотно-наклонном столе *8* (схема *г*) на станке могут обрабатываться детали с пяти сторон и под различными углами. При компоновке по схеме *д* возможна обработка как корпусных деталей, так и деталей типа

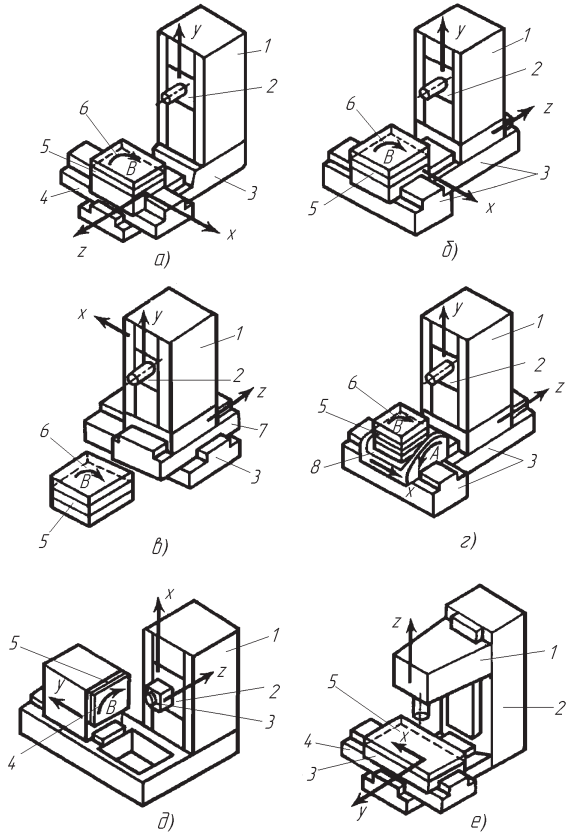


Рис. 19.6. Основные компоновки станков в ГПМ для обработки корпусных и плоских деталей:

а — горизонтальный ГПМ с неподвижной стойкой и крестовым поворотным столом; *б* — с подвижными по одной оси координат поворотным столом и стойкой; *в* — с неподвижным поворотным столом и крестовой стойкой; *г* — с подвижным по одной линейной оси поворотно-наклонным столом; *д* — с поворотным вокруг горизонтальной оси координат столом; *е* — вертикальный ГПМ для обработки плоских деталей с крестовым столом

тел вращения. В станке предусмотрен выдвижной шпиндель *3* и стол *5*, перемещающийся в направлении, перпендикулярном оси шпинделя. Такой модуль может использоваться для сверлильно-фрезерно-расточной обработки вращающимся инструментом и для токарной обработки заготовок, закрепленных на столе-спутнике *4*, невращающимся инструментом (установленным в неподвижном для этого режима шпинделе *3*). На вертикальном станке (схема *е*) при удлиненном столе *5*, перемещающемся по крестовому столу *4*, удобно обрабатывать протяженные заготовки произвольной формы (часто плоские). Основной размер (ширина стола) станков изменяется с коэффициентом 1,26; максимальная частота вращения шпинделей достигает 12 000 мин$^{-1}$ (для шпинделя с конусом 30) и 7000 мин$^{-1}$ (конус 40), 5000 мин$^{-1}$ (конус 50). Скорость быстрых перемещений рабочих органов составляет 10…15 м/мин, время смены заготовок 15…20 с (средние станки).

19.4. Гибкие автоматизированные участки (ГАУ)

Наибольшее распространение получили ГАУ, обрабатывающие отдельно корпусные детали и отдельно тела вращения (операционные и предметные ГПС).

ГАУ для обработки корпусных деталей. Применяются при изготовлении корпусных деталей одного технологического класса при ограниченной и постоянной номенклатуре выпуска в указанных ниже пределах:

Годовой выпуск деталей каждого наименования, шт. . . . . 50...500
Число деталей в партии, шт. . . . . 10...50
Повторяемость запусков партий деталей в год, разы . . . . . 4...12
Годовая номенклатура выпуска, число наименований деталей . . . . . 20...60

На ГАУ выполняются черновые, получистовые и чистовые фрезерные, расточные, сверлильные, резьбонарезные и другие операции с трех, четырех сторон заготовки без ее переустановки. ГАУ создаются как на базе однотипных взаимозаменяемых многоцелевых станков, так и функционально дополняющих их технологические возможности сверлильных, расточных и других станков с ЧПУ.

На рис. 19.7 приведена схема ГАУ «Талка 50», предназначенного для комплексной обработки корпусных деталей (с максимальными размерами 500×500×500 мм), состоящего из четырех ГПМ *5*, автоматизированной транспортной системы *6*, склада *3*, отделений для подготовки приспособлений-спутников (ПС) *2* и инструментальных комплектов *4*, центра автоматизированной технологической подготовки *1*, а также управляющего вычислительного комплекса (УВК) *7*.

Модуль *5*, используемый на участке, сконструирован на базе многоцелевого станка мод. ИР500МФ4 и оснащен восьмиместным линейным накопителем деталей, установленных на приспособлениях-спутниках, и устройством их автоматической смены. Накопитель деталей позволяет модулю реализовывать условия безлюдной технологии минимум в течение одной смены. Транспортные системы *6* состоят из тележки-манипулятора и станций загрузки-разгрузки

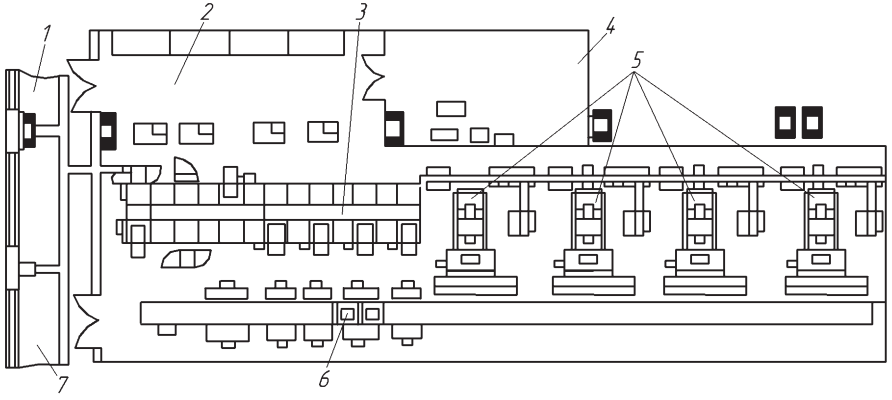


Рис. 19.7. Структурно-компоновочная схема ГАУ «Талка-500»

приспособлений-спутников и комплектов инструментов. Тележка-манипулятор перемещается по рельсовому пути и перевозит заготовки (установленные на двух ПС) от станции загрузки до многоместного накопителя, готовые детали от накопителя до станции загрузки или разгрузки, комплекты инструмента от станции загрузки до накопителя, а также использованные комплекты инструмента на станцию разгрузки.

Автоматизированный склад *3* имеет 182 ячейки, которые обслуживает кран-штабелер. Отделение подготовки приспособлений-спутников *2* служит для наладки и сборки приспособлений-спутников с помощью универсально-сборных приспособлений. Собранные рабочими спутники направляются в автоматизированный склад.

Управляющий вычислительный комплекс *7* обеспечивает эффективную организацию технологических процессов обработки заготовки и управление ими в реальном масштабе времени, а также выдачу информации о текущем состоянии технологических процессов и о работе ГАУ в целом. ГАУ для обработки деталей типа тел вращения предназначен для эксплуатации в условиях среднесерийного производства. В состав ГАУ входят токарные полуавтоматы с ЧПУ и многоцелевые станки сверлильно-фрезерно-расточной группы. При необходимости ГАУ дополняется шлифовальным, зубообрабатывающим и другим оборудованием, что позволяет изготавливать на них до 90% всей номенклатуры деталей типа тел вращения.

19.5. Гибкие автоматические линии (ГАЛ)

Гибкая автоматическая линия в отличие от традиционной автоматической линии (АЛ) может переналаживаться на обработку новой детали, а также перестраиваться на выпуск заранее неизвестных деталей, близких по технологии обработки ранее изготавливающимся деталям. За основу выбора структурно-компоновочных схем ГАЛ принимается групповой технологический процесс обработки. Обычно ГАЛ используется для обработки семейства подобных деталей, например блоков цилиндров 6-, 8- и 10-рядных и их модификаций одного типа двигателя. Технологический процесс строится так, чтобы операции, связанные с переналадкой оборудования, выполнялись на определенных станках или позициях ГАЛ. В этом случае переналаживаемое оборудование оснащается УЧПУ, устройствами автоматической смены инструмента и многошпиндельных головок и другими механизмами.

Характерные особенности ГАЛ по сравнению с традиционными АЛ следующие:

1) более широкое применение средств вычислительной техники (УЧПУ, программируемых командоаппаратов) для управления работой и переналадкой оборудования;

2) использование на отдельных рабочих позициях револьверных головок со сменным инструментом или инструментальными блоками (рис. 19.8); сменных шпиндельных коробок для многоинструментальной обработки, установленных на поворотных столах, транспортных или других устройствах;

3) включение в состав линии унифицированных узлов, оснащенных УЧПУ,

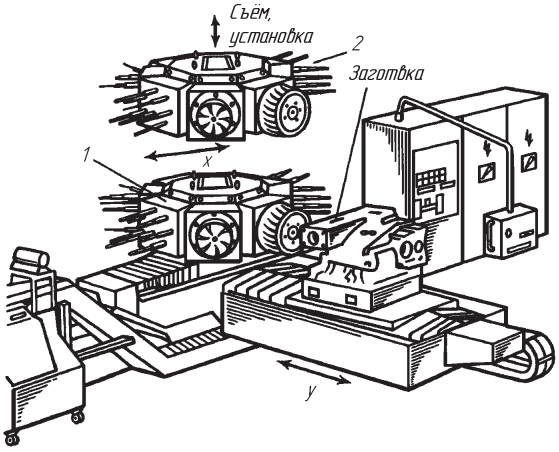


Рис. 19.8. Устройство смены головок:
1 — многошпиндельная коробка, *2* — сменные головки

а также определенных участков транспортной системы, имеющих переменный цикл работы и т.п.;

4) использование переналаживаемых механизмов в составе традиционного оборудования.

На рис. 19.9 показана схема станка, имеющего переналаживаемый силовой стол *1* с делительно-поворотным устройством. На последнем смонтированы четыре шпиндельные коробки *3*, каждая из которых предназначена для использования при обработке только определенной детали *4*. При переналадке линии достаточно повернуть устройство *2* и поставить в рабочее положение новую шпиндельную коробку, оснащенную соответствующим комплектом режущего инструмента.

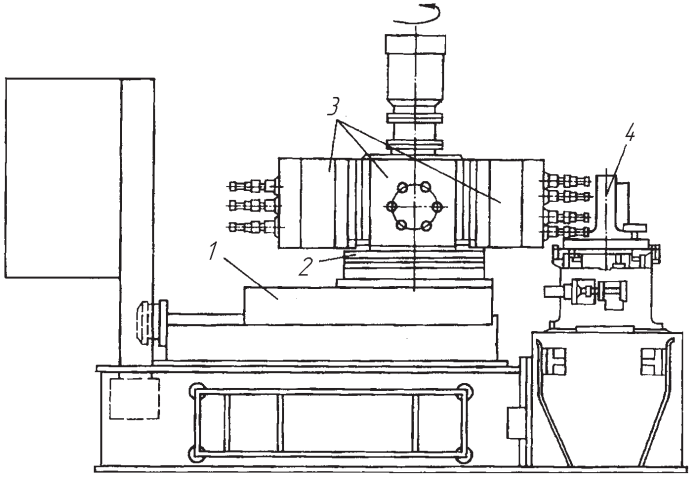


Рис. 19.9. Станок с поворотными шпиндельными коробками:
1 — силовой стол; *2* — делительно-поворотное устройство; *3* — шпиндельные коробки; *4* — обрабатываемые заготовки

Основным высокопроизводительным оборудованием, которым оснащают ГАЛ для обработки корпусных деталей, являются станки со сменными шпиндельными коробками (рис. 19.10). При этом возможны два варианта их использования: 1) заготовка в процессе обработки перемещается между неподвижными станками (для крупносерийного производства); 2) заготовка стационарно установлена на рабочей позиции, к которой по отдельному конвейеру подаются шпиндельные коробки в последовательности, заданной технологическим маршрутом (для среднесерийного производства).

На агрегатных станках с неавтоматизированной сменой шпиндельных коробок (рис. 19.10, *а*) взаимозаменяемые шпиндельные коробки *2* подаются на силовой узел *1*, который осуществляет рабочую подачу при сверлении и резьбонарезании. Смена их производится 1…3 раза в 1 мес. На станке, показанном на рис. 19.10, *б,* предназначенном для сверления, нарезания резьбы и растачивания, шпиндельные коробки *3* (в количестве не более четырех) устанавливают на делительно-поворотный стол *1*, смонтированный на силовом столе *2*. В варианте по рис. 19.10, *в* сменные шпиндельные коробки *3* (до 12 штук) установлены на поворотном кольцевом столе *4*. В центре поворотного стола монтируется привод *5* главного движения шпиндельных коробок. На силовом столе *1* расположены рабочий *2* и поворотный *6* столы. Деталь, установленная на рабочем столе, может обрабатываться с четырех сторон. В барабанных станках (рис. 19.10, *г*) сменные шпиндельные коробки *2* располагаются в магазине *1* (с числом коробок 4—10). На ГАЛ со сменными шпиндельными коробками, транспортируемыми по базовой плоскости (рис. 19.10, *д)*, обрабатываются последовательно детали нескольких наименований. Заготовки устанавливаются на рабочем столе *4*. Комплекты шпиндельных коробок *1* хранятся на складе *2*. Основная особенность такого решения — осуществление подачи силовым узлом *3*. В случае ГАЛ со сменными шпиндельными коробками, транспортируемыми по нижней плоскости (рис. 19.10, *е*), движение подачи и установочное движение получает заготовка, закрепленная на крестовом столе *5*. Комплект шпиндельных коробок *1* располагается на роликовом конвейере *2* непрерывного действия в порядке технологического маршрута обработки. На силовом узле *3* входной вал каждой

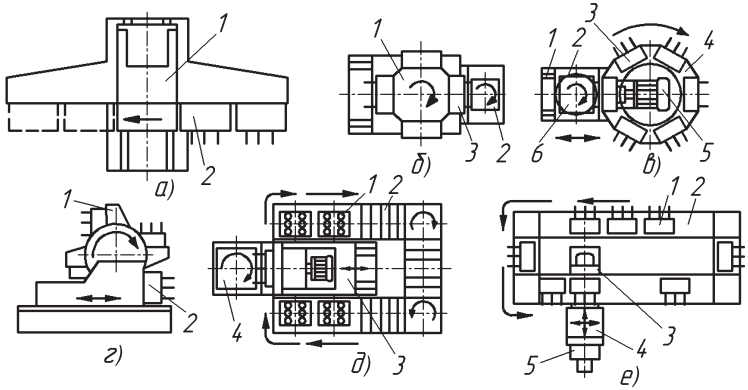


Рис. 19.10. Компоновочная схема агрегатных станков со сменными шпиндельными коробками

шпиндельной коробки входит в зацепление (посредством муфты) со стационарным приводом главного движения.

Эффективная эксплуатация ГАЛ невозможна без диагностирования состояния оборудования, без развитых систем поиска и локализации отказов. Применяют функциональные и тестовые методы диагностирования. Функциональное диагностирование выполняется в процессе функционирования ГАЛ с помощью специальных встроенных средств контроля, позволяющих оперативно реагировать на нарушения работоспособности. Тестовое диагностирование позволяет определять скрытые отказы, которые не влияют в данный момент на работоспособность оборудования ГАЛ, но их накопление приводит к снижению надежности всей системы. Тестовые методы особенно важны на режимах профилактики и наладки ГАЛ, а также при выполнении ремонтных операций.

Автоматизация диагностирования ГАЛ осуществляется с помощью управляющих ЭВМ и программируемых контроллеров, которые должны иметь: дискретные и аналоговые входы для связи с датчиками системы автоматизированного контроля; специализированный язык программирования, позволяющий строить сложные диагностические программы; развитое программное обеспечение для выполнения алгоритмов диагностирования и для вывода на экран дисплея соответствующей информации в наглядной форме.

Реальная производительность ГАЛ определяется коэффициентом технического использования, характеризующим соотношение времени производительной работы оборудования и времени его простоев в процессе выполнения наладочных операций и восстановления работоспособности, простоев по организационным причинам. Важнейшая задача в области дальнейшего совершенствования ГАЛ — повышение этого коэффициента, так как для большинства линий он в настоящее время составляет 0,6…0,7.

19.6. Управление ГПС

Управление ГПС реализуют комплексные многофункциональные иерархически построенные автоматизированные системы управления (АСУ), в которых можно выделить две функциональные составные части: управления технологическими процессами (АСУ ТП) и организационно-технологического управления (АСУ ОТ). Первая решает задачи группового управления технологическим и транспортным оборудованием, а вторая — задачи планирования, диспетчеризации и учета хода производства. Обе составные части АСУ ГПС тесно взаимосвязаны между собой как аппаратными, так и программными средствами. Набор решаемых ими задач в различных ГПС может варьироваться.

АСУ ТП предназначена для выработки управляющих воздействий на комплексы (группы) основного и вспомогательного оборудования ГПС, передачи управляющих программ и другой требуемой информации в устройства локального управления (системы ЧПУ оборудованием, устройства электроавтоматики), приема информации от устройств локального управления, а также для организации хранения в памяти ЭВМ библиотек управляющих программ и всей необходимой технологической документации. Она должна обеспечивать непосредственное групповое управление металлорежущими станками, машинами заготовитель-

ного производства, сборочными и сварочными автоматами, кузнечно-штамповочным оборудованием, роботами, контрольно-измерительными установками, транспортными средствами, автоматизированными складами и другими функциональными модулями ГПС в реальном масштабе времени. В состав АСУ ТП входят модули локального управления, средства информационно-измерительной и вычислительной техники.

В ГПС программное управление обеспечивает функционирование оборудования в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой и возможность изменения процессов функционирования при смене программы. Последовательность действий оборудования и его рабочих органов определяется функциональными программами. Управляющие программы для систем числового и циклового программного управления оборудованием задают исходные данные для функциональных программ ЭВМ. Совокупность обслуживающих программ, которые обеспечивают управление работой ЭВМ, составляют операционные системы.

Главная проблема, возникающая при разработке системы группового управления оборудованием ГПС, — обеспечение взаимодействия устройств локального управления с ЭВМ. Решение этой проблемы связано с унификацией и стандартизацией программно-аппаратных интерфейсов (физического, логического и информационного).

Физический интерфейс определяет способ электрического и механического сопряжения ЭВМ и локальных устройств управления. Широко используются последовательные интерфейсы. Параллельные интерфейсы пригодны для передачи данных на малые расстояния (до 5…15 м).

Логический интерфейс определяет способ передачи информации (протокол обмена информацией) по каналу связи: способ установления и прекращения сеансов связи, размер передаваемых сообщений, процедуру контроля передаваемых данных.

Информационный интерфейс определяет состав и формат передаваемых по каналу связи сообщений, т.е. язык информационного обмена между ЭВМ и локальными устройствами управления. Примеры информации, передаваемой от ЭВМ:

- управляющие программы и подпрограммы;
- модули программного обеспечения;
- тестовые программы;
- данные о параметрах станка, начальных координатах обработки, величинах корректирования;
- данные об инструменте и режимах резания;
- различные команды;
- тестовые сообщения для вывода на дисплей оператора.

Примеры информации, передаваемой от локальных устройств управления: отредактированные управляющие программы, подпрограммы и модули программного обеспечения; запросы; данные о состоянии оборудования и локальных устройств управления; подтверждение выполнения команд.

При стыковке ЭВМ с локальными устройствами управления используются также дополнительные коммуникационные системы, выполненные на базе микропроцессоров. Такие системы в составе локальной вычислительной сети мо-

гут одновременно выполнять функции терминалов, с которых оператор вызывает требующиеся управляющие программы, вводит данные о ходе производства, состоянии оборудования и инструмента, делает различные запросы.

АСУ ОТ выполняет переработку производственной информации в соответствии с выдаваемыми оператором или АСУП задачами производственной программы и оперативной обстановкой на производстве. При этом осуществляется стратегическое, тактическое и оперативное управление ГПС.

Стратегическое управление заключается в составлении производственных планов на месяц или на более длительный период времени с учетом наибольшей загрузки оборудования, минимума переустановов обрабатываемых заготовок и минимума транспортных операций.

Тактическое управление обычно имеет дискретность действий один рабочий день (две или три рабочие смены). Вмешательство в работу ГПС на тактическом этапе управления приводит к модификации номинального производственного плана, разработанного на стратегическом этапе. На основании данных о ходе производственного процесса определяется целесообразность вмешательства в работу ГПС и, в случае необходимости, проводится это вмешательство для компенсации отклонений действующего производственного процесса от номинального планируемого. Планы корректируется также при появлении срочных заказов, при внеочередном ремонте оборудования, при отсутствии заготовок и при других непредвиденных событиях.

В ходе оперативного управления выполняются оперативное планирование производства с учетом директив тактического этапа управления, диспетчеризация производства в соответствии с плановым заданием, управление технологической подготовкой производства, взаимодействие всех иерархических уровней АСУ ГПС, сбор информации о состоянии производственного процесса, о работе служб и подразделений.

Для выполнения многочисленных ответственных задач АСУ ТП и АСУ ОТ разрабатывают огромное количество весьма сложных в методическом и структурном отношении алгоритмов и программ. Их реализация связана с формированием однородных уровней принятия решений, с выделением нескольких уровней в иерархических структурах. Каждому уровню соответствует свой комплекс задач и состав технических и программных средств. На рис. 19.11 приведен вариант трехуровневой структуры АСУ ГПС.

Первый уровень содержит локальные средства управления, контроля и диагностирования функциональных модулей ГПС. Этот уровень осуществляет выполнение задач внутримодульного управления технологическими процессами (с оптимизацией режимов обработки), транспортирования, складирования, обеспечения технологической оснасткой, удаления отходов производства. Он реализуется с использованием микропроцессорных систем ЧПУ и устройств электроавтоматики, которые взаимодействуют с ЭВМ других уровней и могут при необходимости взаимодействовать между собой.

На втором уровне синхронизируется работа компонентов ГПС, решаются основные задачи группового управления оборудованием и АСУ ОТ. Управляющевычислительный комплекс (центральная ЭВМ) может оптимизировать процессы управления с использованием информационной и динамической моделей ГПС.

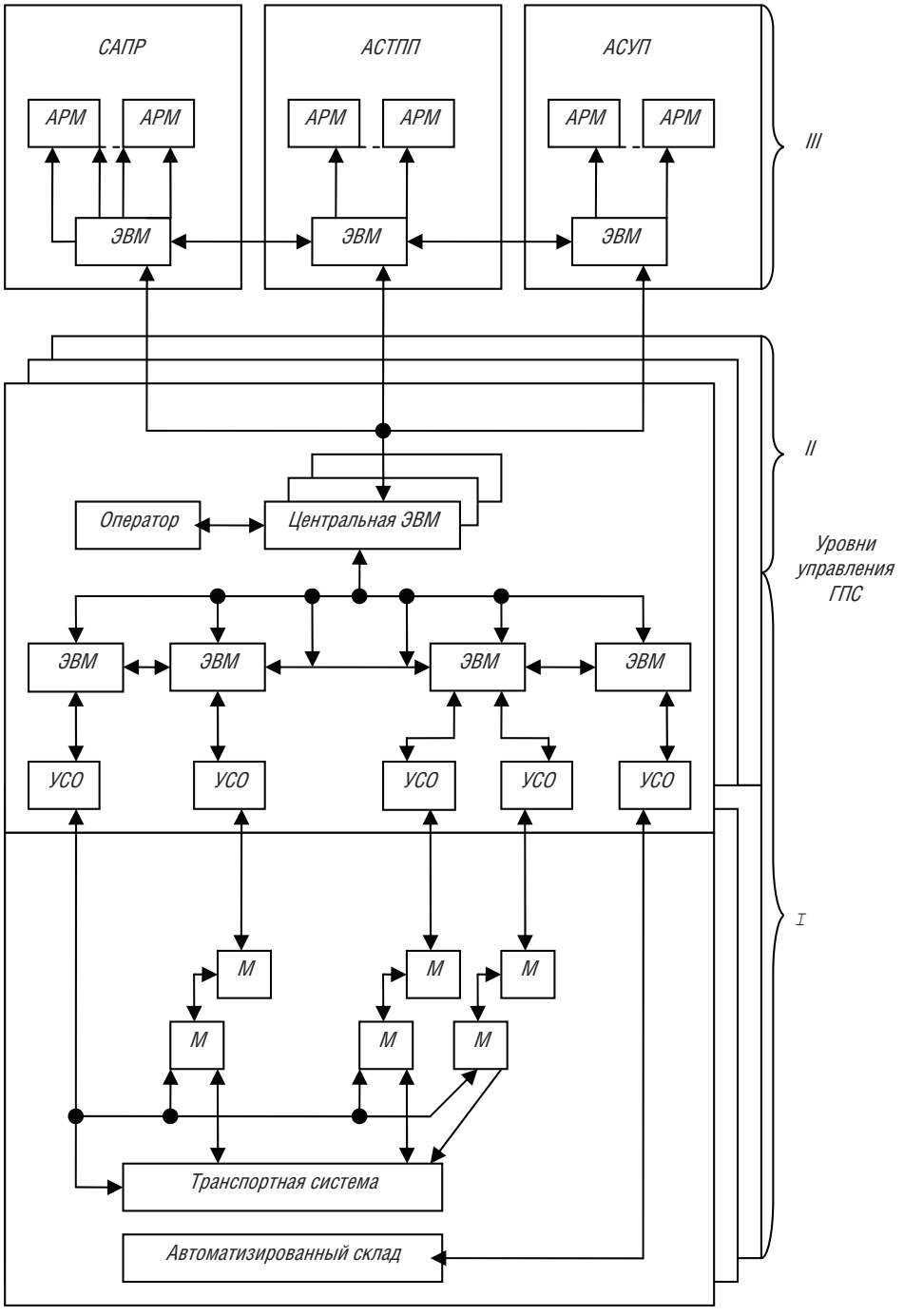


Рис. 19.11. Трехуровневая структура системы управления:
АРМ — автоматизированные рабочие места; *М* — модули оборудования; УСО — управление станочным оборудованием

В качестве примера рассмотрим выполнение некоторых задач диспетчеризации производства, т.е. комплекса мероприятий, осуществляемых ЭВМ и оператором, которые направлены на обеспечение выполнения производственного задания.

Производственное задание, полученное от подсистемы планирования, представляет собой частично или полностью упорядоченное расписание производственных и технологических операций. АСУ ОТ обеспечивает, в качестве одной из своих функций, управление заданной последовательностью операций, синхронизируя операции во времени и осуществляя возможность изменения заданного расписания при изменении производственных обстоятельств.

По различным причинам в производственный процесс вносятся случайные возмущения, которые необходимо компенсировать для повышения ритмичности работы ГПС и обеспечения условий стабильного выпуска продукции. При изменении технологических маршрутов механообработки можно варьировать оборудование, режущий инструмент, оснастку и обрабатываемые заготовки. Эффективным средством повышения устойчивости производства в условиях ГПС является реализация многовариантных технологических процессов.

Распространены два метода задания расписания производственных и технологических операций, обеспечивающих маршрутную гибкость: 1) метод потенциальной гибкости и 2) метод активной гибкости. При методе потенциальной гибкости разрешение на использование альтернативных технологических маршрутов дает оператор ГПС только в экстремальных обстоятельствах. Выбором маршрута оператор управляет в реальном масштабе времени. При методе активной гибкости допускается использование нескольких технологических маршрутов для обработки идентичных деталей за счет маневрирования ресурсами. Выбор маршрута выполняет ЭВМ по алгоритму поиска требуемого ресурса. Такой подход предъявляет повышенные требования к уровню автоматизации оборудования ГПС и, прежде всего, транспортного оборудования, требует увеличения количества режущего инструмента на рабочих позициях. Он основан на принципах групповой технологии.

Поскольку производственное задание составляется по априорным или статистическим данным трудоемкости механообработки, то возможны отклонения фактической трудоемкости от расчетной, поэтому в ходе оперативного планирования и диспетчеризации приходится определять реальные затраты времени на выполнение технологических операций (например, время обработки партии корпусных деталей часто составляет несколько рабочих смен). По времени обработки первых деталей можно более точно планировать работы на оставшийся период времени.

Мониторинг производственного процесса — это непрерывное слежение за ходом выполнения производственного задания. Время, оставшееся до конца планового периода, сопоставляется с трудоемкостью выполнения оставшейся части задания. Результат сравнения отображается на экране дисплея оператора.

Диспетчеризация связана также с управлением материальными потоками заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей, комплектов режущего инструмента и технологической оснастки. При этом выбирается маршрут движения объектов транспортирования, координируется работа автоматизированной транспортно-складской системы и технологического оборудования в ходе выполнения произ-

водственного задания, формируются и выдаются соответствующие команды локальным устройствам управления.

Таким образом, результатом решения задач оперативного планирования и диспетчеризации производства является временно́е и пространственное упорядочение комплекса запланированных работ на этапах тактического и стратегического управления. Временно́е упорядочение выражается в определении сроков начала и окончания выполнения работ, а пространственное — в назначении работ на определенное технологическое оборудование. При решении задач используются имитационное моделирование, аналитические и статистические методы, правила предпочтения. Примеры правил предпочтения:

• высший приоритет имеют технологические операции с минимальной трудоемкостью;

• высший приоритет имеет деталь, поступившая в очередь на обработку первой;

• для детали устанавливается время пребывания в очереди на обработку, после которого она приобретает высший приоритет.

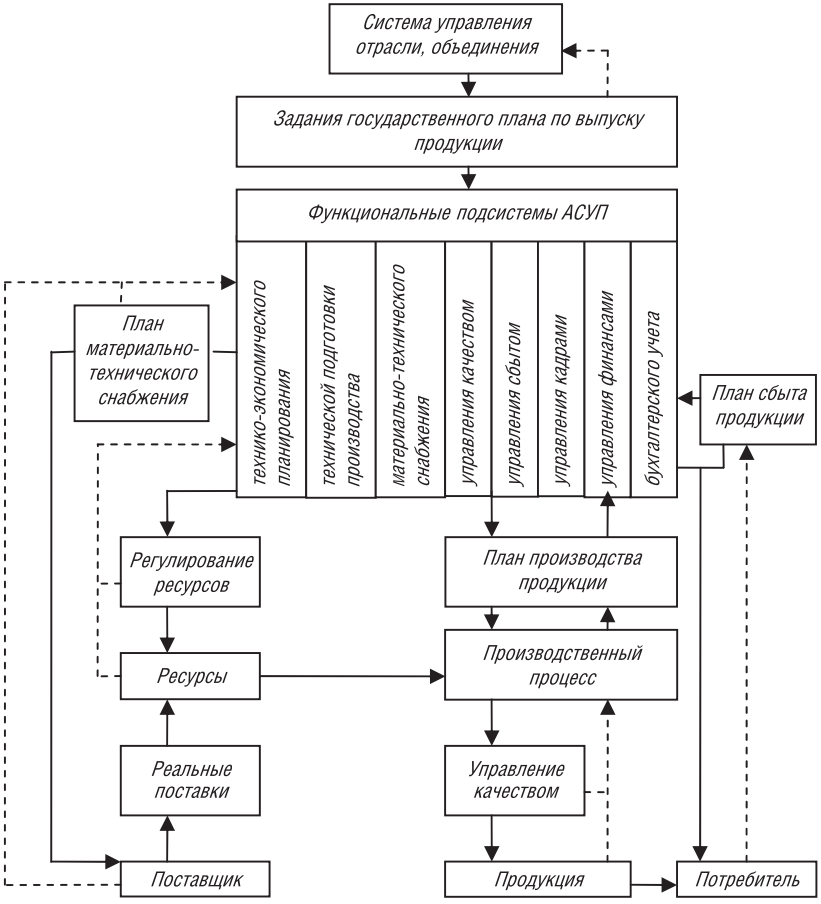


Рис. 19.12. Информационная модель автоматизированного управления производством

На третьем уровне АСУ ГПС функционируют автоматизированные системы управления предприятием (АСУП), технологической подготовки производства (АС ТПП), исследования и проектирование изделий (САПР).

Управление машиностроительным предприятием заключается в целенаправленном воздействии органов управления на производственный коллектив, информационные потоки и материальные ресурсы для эффективного решения задач, поставленных перед предприятием. Общие цели управления направлены на развитие социального и научно-технического прогресса, на повышение эффективности и качества работы.

АСУП — человекомашинная система, обеспечивающая автоматизированные сбор и обработку производственной информации, необходимой для оптимизации управления предприятием. Процесс оптимизации предполагает выбор такого варианта управления, при котором достигаются экстремальные значения критериев, характеризующих качество управления. Повышение эффективности производственной и хозяйственной деятельности предприятия в условиях АСУП обеспечивается за счет внедрения экономико-математических методов управления и средств вычислительной техники, упорядочения нормативных данных и документооборота, оперативного контроля выполнения своих функций отдельными исполнителями и подразделениями.

Укрупненная информационная модель автоматизированного управления производством (рис. 19.12) представляет собой информационные потоки между производственным процессом, основными функциональными подсистемами АСУП, поставщиками оборудования, материалов и комплектующих изделий, потребителями продукции. По входным каналам передается плановая информация (сплошные линии), по выходным каналам — информация о фактическом ходе производства (штриховые линии).

ЭВМ и экономико-математические методы не подменяют социальное, экономическое и административное руководство, а дополняют его и способствуют оптимизации. Управление предприятием следует понимать как сочетание объективного и субъективного, формализованного анализа огромных массивов производственной информации и творческой деятельности человека.

19.7. Автоматизированные транспортно-складские системы ГПС (АТСС)

Нормальное функционирование ГПС во многом определяется наличием необходимого числа заготовок, режущего и вспомогательного инструмента и технологической оснастки, транспортирование и складирование которых осуществляется АТСС. К техническим средствам АТСС относятся: краны-штабелеры, стеллажи для хранения грузов, производственная тара, устройства, обеспечивающие перегрузку деталей, контейнеры, транспортные роботы (электроробокары), средства доставки СОЖ и удаления стружки, промышленные роботы (см. т. 1, гл. 5).

Транспортная система функционально связана с основным и вспомогательным оборудованием ГПС и обеспечивает перемещения заготовок изделий, оснастки. Изделия могут перемещаться на спутниках (палетах, кассетах и др.) или без них (по лоткам, склизам и т.п.). В состав АТСС включаются различные

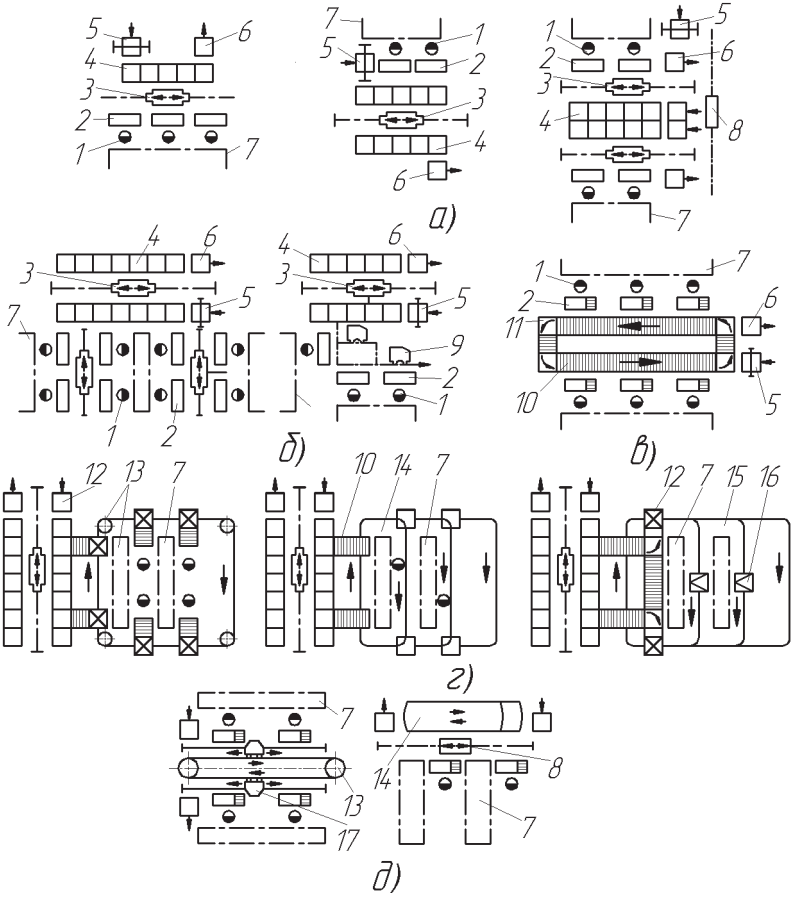


Рис. 19.13. Типовая схема компоновок автоматизированных транспортно-складских систем АТС:

а — линейного типа; *б* — многорядного типа на базе кранов-штабелеров и напольного оборудования; *в* — кольцевого типа на базе конвейерного оборудования; *г* — многорядного типа на базе подвесного транспорта; *д* — кольцевого типа на базе подвесного транспорта; *1* — робот (оператор); *2* — приемное устройство; *3* — кран-штабелер; *4* — стеллаж; *5* — контрольное устройство; *6* — участок разгрузки; *7* — технологическое оборудование; *8* — передаточная тележка; *9* — электроробокара; *10* — роликовый конвейер; *11* — поворотный стол; *12* — конвейерный напольный манипулятор; *13* — подвесной грузонесущий конвейер; *14* — однорельсовая дорога; *15* — подвесной толкающий конвейер; *16* — опускная секция; *17* — конвейерный подвесной манипулятор

конвейеры, лотки, электроробокары и т.д. Типовая схема компоновок АТСС приведена на рис. 19.13. При линейном расположении оборудования на базе кранов-штабелеров и напольного оборудования АТСС работает следующим образом (рис. 19.13, *а*): заготовки, готовые детали и технологическая оснастка укладываются в тару вне АТСС. Затем тара проходит контрольное устройство и поступает на загрузочный цепной конвейер к крану-штабелеру, который устанавливает ее в свободную ячейку стеллажа. Система управления отыскивает нужную ячей-

ку стеллажа с тарой, кран-штабелер забирает эту тару и устанавливает на приемное устройство рабочего места у станка. Далее кран-штабелер забирает тару с обработанными деталями с приемного устройства рабочего места и устанавливает ее либо в свободную ячейку стеллажа, либо отправляет по другому адресу. На технологическое оборудование детали и тара подаются роботами, манипуляторами или вручную, если оборудование для подачи деталей из тары не входит в состав АТСС. Работа АТСС многорядного типа (рис. 19.13, *б*) отличается тем, что грузовые единицы распределяются по приемным устройствам электроробокарами. В АТСС кольцевого типа (рис. 19.13, *в*) межоперационное накопление и транспортирование грузовых единиц осуществляются на кольцевом конвейере, по периферии которого расположены приемные устройства станков. В АТСС многорядного типа (рис. 19.13, *г*) грузовые единицы распределяются в приемные устройства рабочих мест станков с помощью подвесного транспорта (подвесной грузонесущий или толкающий конвейеры, монорельсовая дорога). Такие системы АТСС характеризуются высокой интенсивностью грузопотоков и небольшим числом номенклатуры заготовок. В АТСС кольцевого типа (рис. 19.13, *д)* межоперационное накопление грузовых единиц может осуществляться и в кольцевых подвесных конвейерных линиях, которые, как правило, перемещают штучные грузы.

Широкое распространение в АТСС получили самоходные транспортные тележки (электроробокары), которые имеют различные маршруты и транспортируют разные детали и заготовки (подробнее см. т. 1, гл. 6). Складские системы предназначены для хранения у станков или на участке необходимого числа заготовок, инструмента, оснастки, сменных узлов и других компонентов материального потока. Хранение может быть: централизованным — когда имеется общий склад для всей ГПС, децентрализованным — когда материалы хранятся у станков, и комбинированным — сочетающим особенности того и другого складирования.

Автоматизация загрузочно-разгрузочных операций. Наибольшее распространение в качестве средств автоматизации загрузочно-разгрузочных операций получили промышленные роботы (ПР). В механообрабатывающих ГПС используются портальные и напольные промышленные роботы. Одним из главных условий применения ПР является расположение производственного оборудования таким образом, чтобы переносимые предметы в процессе выполнения технологических операций были удобно расположены для обслуживания, а их место могло быть при необходимости определено по сигналам измерительных устройств робота. Промышленные роботы могут обеспечивать замену приспособлений, режущего и мерительного инструмента и других средств технологической оснастки.

19.8. Системы контроля качества продукции

Различают три вида автоматического контроля обрабатываемых деталей: до начала, во время и после обработки. Контроль *первого вида* направлен, прежде всего, на создание условий для бесперебойной работы оборудования, так как детали с повышенным припуском могут вызвать поломку инструмента.

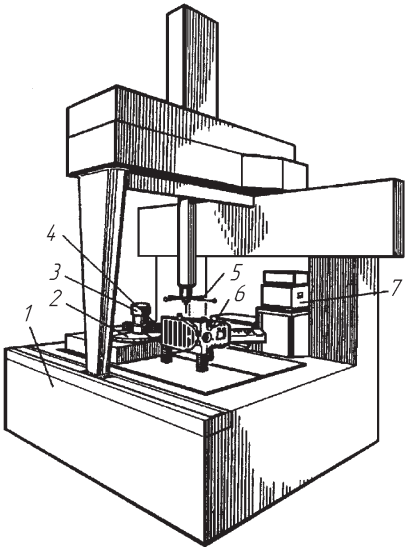


Рис. 19.14. Координатно-измерительная машина: *1* — корпус; *2* — поворотный стол; *3* — прижимное устройство; *4* — деталь, ожидающая измерение; *5* — инструментальные щупы; *6* — измеряемая деталь; *7* — система управления

Контроль *второго вида* (наиболее важный) проводится в процессе работы и предназначен для предотвращения брака. По данным измерения непосредственно в процессе обработки выдаются команды на корректировку управляющей программы. Контроль *третьего* вида предусмотрен, главным образом, для гарантии качества изготовления продукции. Контрольно-измерительные операции могут выполняться как непосредственно на станках, так и вне станка. На станках с ЧПУ, работающих в автономном режиме, первоначальные размерные настройки и текущая подналадка, наблюдение за износом режущего инструмента, своевременная замена инструмента и введение размерной настройки после такой замены выполняются оператором. На станках, работающих в составе ГПС, все эти функции выполняются автоматически комплексом аппаратных и программных средств, являющихся элементами системы автоматического контроля (САК) ГПС. Измерительные устройства выполняют прямой контроль деталей, если они определяют их размеры, и косвенный контроль, если они определяют поломку инструмента и его износ.

Контрольно-измерительные операции вне станка проводятся на специальных координатно-измерительных машинах (КИМ). Они отличаются более высо-

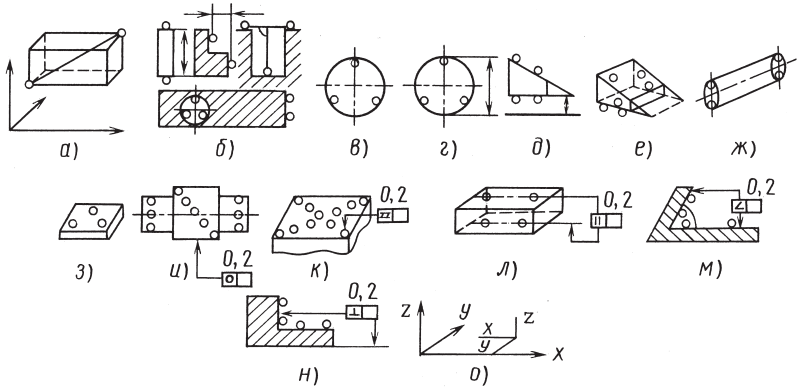


Рис. 19.15. Определение месторасположения и числа точек контакта щупа с измеряемой поверхностью:
а — в координатном направлении; *б* — длины; *в* — в центре круга; *г* — диаметра круга; *д* — одной точки сечения; *е* — прямой пересечения; *ж* — прямой; *з* — плоскости; *и* — круглости; *к* — плоскостности; *л* — параллельности; *м* — угла; *н* — перпендикулярности; *о* — точки пространства

кой производительностью и точностью измерений по сравнению с контролем, реализуемым непосредственно на металлорежущем станке. Результаты измерений могут быть переданы в этом случае и на обрабатывающее оборудование в целях его автоматической поднастройки, а также использованы при приемке готовой продукции. На рис. 19.14 показан общий вид КИМ портального типа.

Исполнительным органом КИМ являются щуповые измерительные головки высокой чувствительности, которые могут быть механическими, оптическими и электронными. На рис. 19.15 приведена схема измерений обрабатываемых изделий (деталей).

19.9. Особенности построения технологических процессов в условиях ГПС

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на эксплуатационную эффективность ГПС, является разработка оптимального варианта технологического процесса под подобранную номенклатуру деталей. При разработке технологии обработки деталей решают ряд задач, начиная от формирования структуры и состава операций и переходов и заканчивая определением значений режимов резания и нормирования операций.

Групповой технологический процесс должен иметь общий технологический маршрут или набор технологических деталеопераций, обеспечивающих: обработку любых деталей; единство технологических баз; оптимальную загрузку оборудования; минимальные потери на переналадку при переходе с одной детали (группы деталей) на другую. ГПС для групповой обработки корпусных деталей разрабатывают в несколько этапов.

На первом этапе анализируют номенклатуру деталей, обрабатываемых в цехе, и группируют их. Критерий отбора — классификационные признаки, позволяющие обрабатывать эти детали в ГПС (их технологичность). В свою очередь, критериями технологичности деталей, с точки зрения реализации групповой технологии в конкретных производственных условиях для деталей одной группы принимают: размеры базовых поверхностей; одинаковые схемы установки; унификацию размеров обрабатываемых поверхностей; возможность применения унифицированной технологической оснастки; общность применяемых при выполнении каждой деталеоперации методов обработки и инструмента, наладки оборудования для всех деталей, входящих в данную деталеоперацию; возможность разработки единой управляющей программы для станков с ЧПУ. Все это позволяет сократить многообразие обрабатываемых поверхностей, число режущих инструментов, унифицировать ряд деталеопераций.

На втором этапе детали кодируют по конструктивно-технологическим признакам, подразделяют на группы и разрабатывают групповые технологические процессы.

При выделении групп корпусных деталей для обработки на многоцелевых станках необходима дополнительная информация о признаках, наиболее существенно влияющих на группирование обрабатываемых деталей, построение процесса обработки и выбор технологических возможностей оборудования.

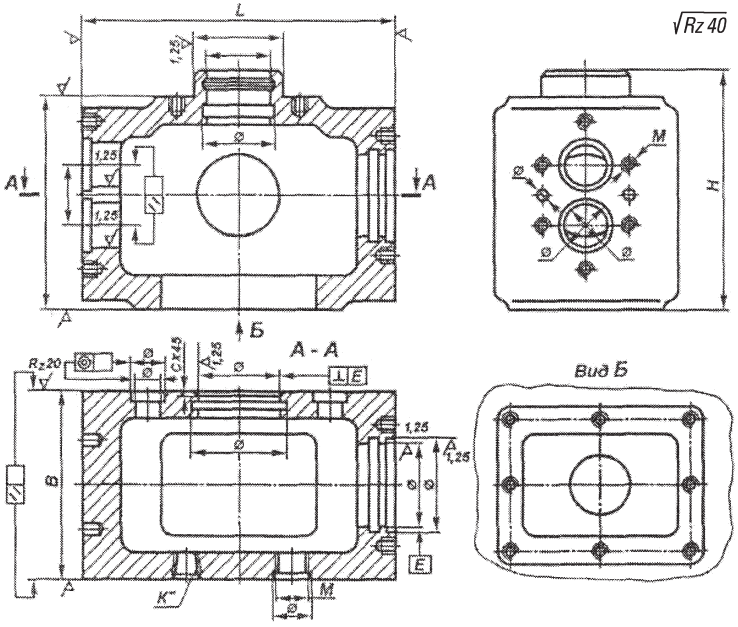


Рис. 19.16. Чертеж детали-представителя

Таких признаков в общем случае шесть: число обрабатываемых сторон, число основных (классных) отверстий, чисто крепежных и гладких неосновных отверстий, число сторон их размещения, наличие специальных поверхностей (наружных цилиндрических, фасонных, расположенных под определенным углом), годовая программа выпуска деталей.

С учетом кода классификационных групп деталей по основным признакам была разработана структура кода, позволяющая объективно, с учетом технологических возможностей оборудования, применяемого в гибких переналаживаемых системах, решать задачу группирования деталей. Коды деталей являются исходной информацией для их группирования с помощью ЭВМ. Выявление деталей с подобным признаком позволяет не только объединить их в группы, но и определить деталь-представитель каждой группы, которая имеет основные конструктивно-технологические признаки всей группы (рис. 19.16).

Выделение деталей-представителей дает возможность разработать групповые технологические процессы их полного изготовления на ГПС. При этом все детали, входящие в группу, имеют общий маршрут обработки, а каждая операция построена по принципу групповой технологии. Однако могут быть разновидности построения деталеопераций, когда отдельные детали пропускают ряд операций по маршруту или отдельные операции являются общими для нескольких групп деталей. При этом не исключается возможность выполнения индивидуальных (выносных) операций.

На третьем этапе формируют состав и производственно-технологическую структуру ГПС, т. е. определяют оптимальный по технологическим возможностям комплект оборудования и типаж, выбирают наиболее целесообразный уро-

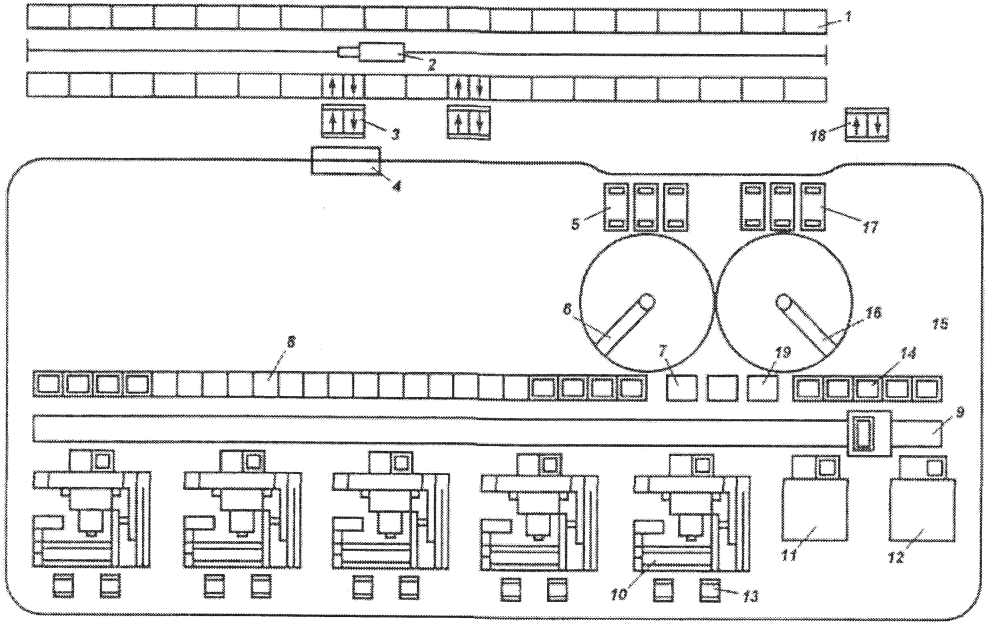


Рис. 19.17. Структура комплекса для обработки корпусных деталей

вень автоматизации производственного процесса, средства и системы оснащения ГПС.

Таким образом была сформирована производственно-технологическая структура комплекса для обработки 26 наименований корпусных деталей автомобиля БелАЗ (рис. 19.17).

Комплекс состоит из автоматизированного склада *1*, откуда заготовки с помощью штабелера *2* грузоподъемностью 0,5 т подаются на двухсекционный промежуточный накопитель *3*. Отсюда они перемещаются робототележкой *4* на односекционный накопитель *5*. Затем манипулятор *6* подает заготовки на станции загрузки *7* к приставочному накопителю 8 и к ленточному транспортеру *9*, который подает их на позиции обработки, где установлено пять станков *10* типа ОН, с ЧПУ, моечная машина *11* и контрольное оборудование *12*. Инструмент в магазины станков автоматически подается с приставочных накопителей *13*, обработанные детали поступают на транспортер *14* и станцию разгрузки *19*.

Затем манипулятор *16* перемещает их на односекционный накопитель готовых деталей *17*, откуда они подаются на промежуточный накопитель *18* и на склад готовых деталей.

Работой станков и транспортными системами управляет ЭВМ, размещенная в специальном помещении. Эффективность использования ГПС определяется рядом критериев. Для гибкого производства особый интерес представляют критерии, позволяющие оценивать совокупные затраты на переналадку оборудования и незавершенное производство. Первые определяются по трудоемкости переналадок на партию заготовок, по заработной плате наладчика, годовой программе выпуска деталей и размеру партии их выпуска. Вторые рассчитыва-

ются с учетом цикловых заделов (детали и заготовки, находящиеся на рабочих позициях, транспортерах, пунктах контроля) и складских заделов (заготовки и детали, находящиеся на складе и ожидающие обработки или сборки). Затраты на переналадку оборудования и затраты в незавершенном производстве зависят прежде всего от размера партии деталей.

Основным критерием выбора оптимальной партии запуска деталей следует считать минимум совокупных суммарных затрат на переналадку оборудования и незавершенное производство. Анализ показывает, что для конкретных деталей этот минимум может составлять до 40 деталей в партии.

Размер партии деталей влияет также на продолжительность производственного цикла, а число партий в группе — на последовательность запуска деталей в обработку и выпуска их на сборку.

Для рассматриваемой ГПС данная задача решалась применительно к таким корпусным деталям, как тройник маслопровода, корпус обратных клапанов, корпус распределителя, корпус редуктора и т.д.

Разработку ГПС с управлением от ЭВМ следует рассматривать как один из этапов на пути создания комплексно-автоматизированных производств, а в перспективе — автоматизированных заводов, работающих в ночное время по безлюдной технологии.

ГЛАВА ДВАДЦАТАЯ

Станочное оборудование на основе механизмов параллельной структуры

20.1. Общие сведения

Развитие современного станкостроения привело к созданию принципиально нового технологического оборудования на основе механизмов параллельной кинематики (МПК) [44]. Структурная схема на основе МПК приведена на рис. 20.1.

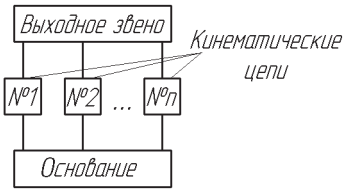


Рис. 20.1. Общая структурная схема механизма параллельной кинематики

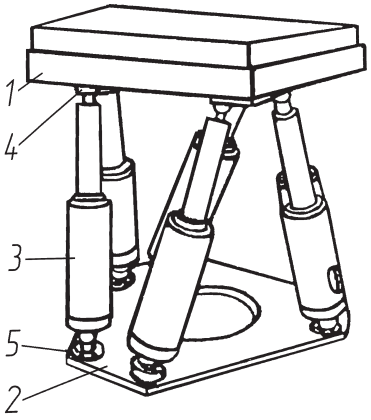


Рис. 20.2. Пример схемы МПК с шестью степенями свободы выходного звена

В самом общем виде у МПК можно выделить *выходное звено* (ВЗ), на котором устанавливается инструментальная головка, и *основание*; они соединены некоторым числом кинематических цепей параллельно (именно из-за параллельного соединения кинематическими цепями основания и выходного звена эти механизмы и получили название «параллельная структура»).

В каждой кинематической цепи устанавливается один или несколько приводов. МПК позволяет обеспечивать до шести степеней свободы ВЗ, что расширяет технологические возможности станка. В качестве примера приведем одну из схем МПК с шестью степенями свободы выходного звена (рис. 20.2). Выходное звено *1* связано с основанием *2* шестью кинематическими цепями в виде штанг переменной длины *3*. Каждая штанга связана с выходным звеном сферическими шарнирами *4*, а с основанием — карданными *5*. Изменяя длины штанг, можно ориентировать выходное звено *1* в пространстве по шести координатам. Если установить на выходном звене шпиндель, то получим станок, который позволяет

обрабатывать фасонные поверхности. *Выделим следующие особенности оборудования на основе МПК*:

• оборудование имеет простую модульную структуру, которая выполнена на базе стандартных элементов (карданные и сферические шарниры, телескопические штанги, т.е. штанги переменной длины, штанги постоянной длины, платформы и т.п.);

• обеспечивается высокая скорость перемещений ВЗ (до 100 м/мин и более) при его малой массе, что позволяет использовать оборудование для сверхскоростной обработки;

• основные элементы конструкции работают на растяжение и сжатие (в случае использования МПК с шестью степенями выходного звена), поэтому достигается достаточно высокая жесткость;

• обеспечивается высокая точность обработки;

• возможно осуществлять смену инструмента без использования специальных устройств, а только за счет перемещения самого ВЗ с инструментальной головкой.

Для обеспечения работоспособности оборудования с МПК необходимо выполнять ряд кинематических условий, которые основаны на использовании формулы Сомова—Малышева. Согласно этой формуле, число степеней подвижности $W_{\text{с.п}}$, которое может обеспечить МПК выходному звену относительно основания (неподвижного звена), определяется так:

$$W_{\text{с.п}} = 6(n_{\text{зв}} - 1) - 5P_1 - 4P_2 - 3P_3 - 2P_4 - P_5, \qquad (20.1)$$

где $n_{\text{зв}}$ — число звеньев механизма; $P_1, P_2, \ldots, P_5$ — число кинематических пар 1-, 2-, …, 5-го родов.

Как правило, в станкостроении не используются кинематические пары с числом степеней подвижности более трех, в этом случае $P_4 = P_5 = 0$.

Затем необходимо проверить степень неподвижности структуры МПК $W_{\text{с.н}}$, т. е. степень подвижности МПК при зафиксированных парах с приводами (или при неподвижных ведущих звеньях). Для обеспечения работоспособности, и в первую очередь жесткости, степень неподвижности структуры должна быть равна нулю. Расчет выполняется по формуле

$$W_{\text{с.н}} = 6(n_{\text{зв}} - n_{\text{в}} - 1) - 5(P_1 - P_{1\text{в}}) - 4(P_2 - P_{2\text{в}}) - 3(P_3 - P_{3\text{в}}), \qquad (20.2)$$

где $n_{\text{в}}$ — число ведущих звеньев кинематической цепи; $P_{1\text{в}}, P_{2\text{в}}, P_{3\text{в}}$ — число ведущих кинематических пар 1-, 2-, 3-го родов.

Необходимо обеспечить следующие условия при проектировании станка с МПК:

$$W_{\text{с.п}} > 0; \quad W_{\text{с.н}} = 0. \qquad (20.3)$$

В качестве примера приведем расчет для гексапода с переменными длинами штанг (см. рис. 20.2):

$$W_{\text{с.п}} = 6(14 - 1) - 5 \cdot 6 - 4 \cdot 6 - 3 \cdot 6 = 6;$$

$$W_{\text{с.н}} = 6(14 - 6 - 1) - 5 \cdot (6 - 6) - 4 \cdot 6 - 3 \cdot 6 = 0.$$

20.2. Типовые структуры

Оборудование на основе МПК имеет большее число возможных вариантов структурных исполнений. Это связано с тем, что можно получить множество структур как комбинации кинематических пар различных родов, которые будут отвечать условиям (20.3). В самом общем виде все МПК можно подразделить на группы по числу степеней подвижности ВЗ ($W_{с.п} = 2$, $W_{с.п} = 3$, $W_{с.п} = 4$, $W_{с.п} = 5$, $W_{с.п} = 6$). В зависимости от числа степеней подвижности ВЗ каждая группа МПК получила свое название. Например, МПК с $W_{с.п} = 2$ называются «биподы», с $W_{с.п} = 6$ — «гексаподы». Ниже рассмотрены примеры существующего технологического оборудования в каждой из групп.

Биподы являются самыми простейшими представителями технологического оборудования, выполненного на основе МПК, и позволяют обеспечить ВЗ две степени свободы. Поэтому биподы, как правило, используются в сочетании с традиционными решениями, т.е. кроме самого МПК присутствуют элементы компоновок традиционных станков, например, подвижный стол с заготовкой; подобные схемы называют гибридными.

На основе бипода выполнен станок SPECHT Xperimental (рис. 20.3). Направляющие *4* станка установлены вертикально и обеспечивают выходному звену *3* два перемещения. Движение по третьей координате осуществляется приводом стола *5,* установленного на станине *6*. В данной конструкции используются линейные двигатели перемещения ползунов *1*, которые совершают прямолинейное перемещение по направляющим. Ползуны связаны с выходным звеном штангами *2*. Характеристики: максимальная скорость выходного звена 120 м/мин; ускорение 1,5*g*; объем рабочего пространства 630×630×630 мм.

По схеме с переменными длинами штанг и двумя дополнительными кинематическими цепями без приводов выполнен многоцелевой станок Dyna-M (Dynamil-Projekt) (рис. 20.4). Выходное звено *1* связано с основанием *4* двумя кинематическими цепями в виде штанг *3* переменной длины с приводами и двумя кинематическими цепями *2* без приводов. Кинематические цепи *2* используются для повышения жесткости в направлении, перпендикулярном плоскости схемы. Характеристики: максимальная

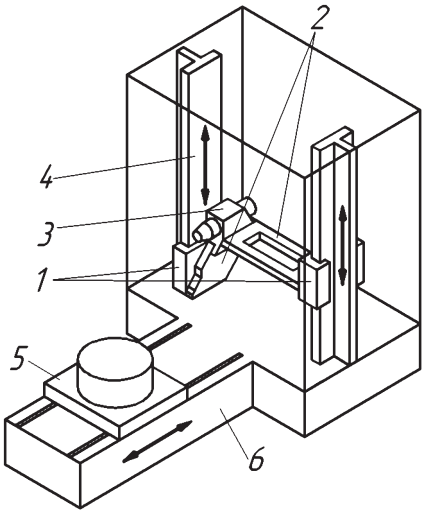


Рис. 20.3. Структура станка SPECHT Xperimental

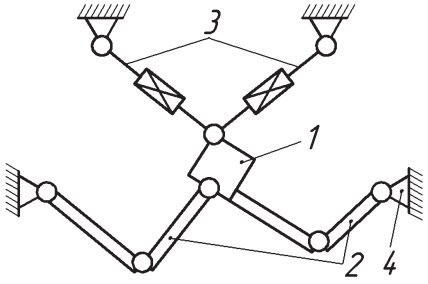


Рис. 20.4. Схема многоцелевого станка Dyna-M

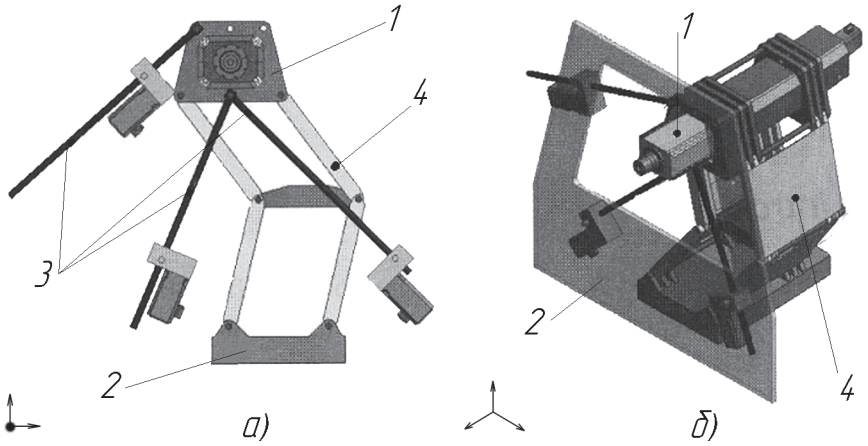


Рис. 20.5. Структура бипода с тремя кинематическими цепями:
а — схема; *б* — исполнение

скорость рабочего органа станка 90 м/мин; ускорение 1,5*g*; объем рабочего пространства 630×630×500 мм.

В качестве возможного варианта бипода с тремя кинематическими цепями, содержащими привод, и одной цепью без привода приведем структуру по схеме на рис. 20.5. Выходное звено *1* связано с основанием *2* тремя кинематическими цепями с приводами в виде штанг переменной длины *3* и одной кинематической цепью без привода *4*. Использование дополнительной кинематической цепи без привода позволяет повысить жесткость структуры оборудования в направлении, перпендикулярном плоскости перемещения выходного звена.

В отличие от рассмотренных структур, где МПК обеспечивает два перемещения выходному звену, в следующем примере (рис. 20.6) выходное звено имеет две вращательные степени свободы. На стойке *1* установлено основание МПК *2*, которое перемещается вертикально. Выходное звено *3* связано с основанием *2* карданным шарниром и двумя кинематическими цепями в виде штанг переменной длины *4*. Каждая телескопическая штанга связана с основанием карданными шарнирами, а с ВЗ — сферическими.

Триподы представляют собой МПК с тремя степенями свободы выходного звена. При проектировании станков на основе триподов отпадает необходимость в обязательном использовании элементов станков традиционного исполнения. Все требуемые движения (в данном случае не более трех) реализуются самой структурой параллельной кинематики. В качестве примера можно привести многоцелевой станок Ulyses фирмы Fatronic (Испания). Выходное звено, на котором установлен шпиндель, связано со станиной четырьмя кинематическими цепями. Три из них выполнены по схеме телескопических штанг, т.е. это штанги

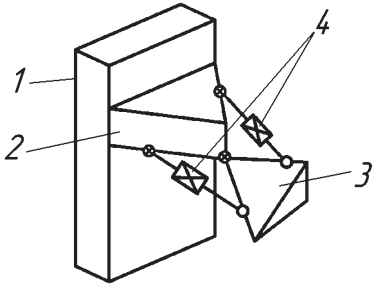


Рис. 20.6. Схема станка
с Dumbo-структурой

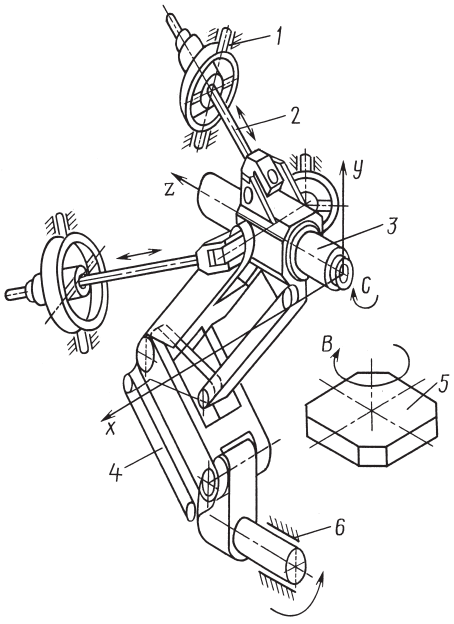


Рис. 20.7. Схема станка SKM 400

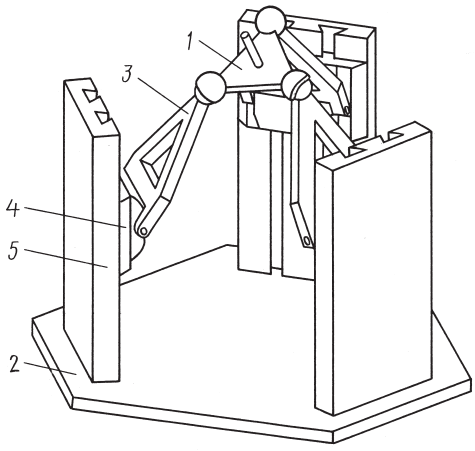


Рис. 20.8. Структурная схема модуля Sprint-Z3

переменной длины на основе шариковой винтовой пары, и содержат привод. Другая кинематическая цепь — пассивная, т.е. это кинематическая цепь без привода. Выходное звено имеет три степени свободы (в данном случае перемещение по трем взаимно-перпендикулярным осям). Характеристики: максимальная скорость движения выходного звена 120 м/мин; ускорение 11,5 м/с^2; объем рабочего пространства 600×500×600 мм. Частота вращения шпинделя 30 000 мин$^{-1}$; мощность привода шпинделя 15 кВт.

В станке SKM 400 фирмы Heckert (Германия) (рис. 20.7) используется МПК с тремя степенями свободы. Выходное звено *3* связано с основанием *1*, *6* тремя кинематическими цепями, реализованными в виде штанг переменной длины *2*, и одной пассивной кинематической цепью *4*. В данном случае пассивная ветвь позволяет не только увеличить угловые жесткости выходного звена, но также оказывает влияние на его ориентацию (в рассматриваемом механизме это вращение вокруг оси шпинделя). Такое воздействие не изменяет технологические возможности станка, для расширения которых используется привод угловой ориентации стола *5*. Максимальная скорость движения выходного звена 100 м/мин, ускорение 1*g*.

Достаточно широко триподы используют в качестве основных модулей, которые реализуют три степени свободы шпинделя. Примером такого решения является модуль Sprint-Z3 (рис. 20.8). Выходное звено *1* модуля связано с основанием *2* тремя кинематическими цепями. Каждая кинематическая цепь состоит из штанги *3*, которая связана с выходным звеном *1* сферическим шарниром, а с ползуном *4* — вращательной парой с одной степенью подвижности. Ползун *4* перемещается по направляющей *5* от своего привода. Привод установлен для перемещения ползуна по направляющей. Структура данного МПК обеспечивает выходному звену одно перемещение (параллельное направляющим и два вращения вокруг двух перпендикулярных осей).

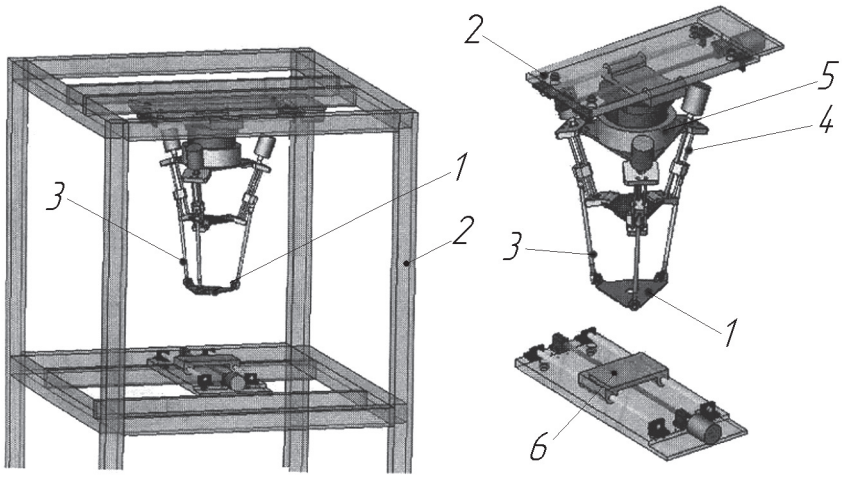


Рис. 20.9. Структура трипода с расширенными технологическими возможностями

Технологические возможности оборудования на основе триподов можно повысить, используя дополнительные перемещения элементов его структуры (рис. 20.9). Выходное звено трипода *1* связано с основанием *5* тремя кинематическими цепями в виде штанг постоянной длины *3*, взаимодействующими с ползунами, перемещающимися по направляющим *5*. В свою очередь основание трипода *5* установлено на платформе, которая перемещается вдоль станины *2*. Рабочий стол *6*, на котором закрепляется заготовка, также может перемещаться относительно станины *2* в направлении, перпендикулярном направлению перемещения основания *5*. Такое решение позволяет значительно расширить объем рабочего пространства станка.

В «Дельта»-структурах используются параллельные конструктивные элементы (рис. 20.10). Как правило, такими элементами являются штанги. На базе «Дельта»-структуры создан станок Quickstep HS 500 фирмы Krauseco & Mauser (Австрия). Выходное звено механизма *1*, несущее шпиндель, соединено со станиной станка через три кинематические цепи, причем в каждой кинематической цепи установлены парные штанги *2*, связанные с ползунами *3*. Характеристики: максимальная скорость движения выходного звена 80 м/мин; ускорение 2*g*; объем рабочего пространства 630×630×500 мм.

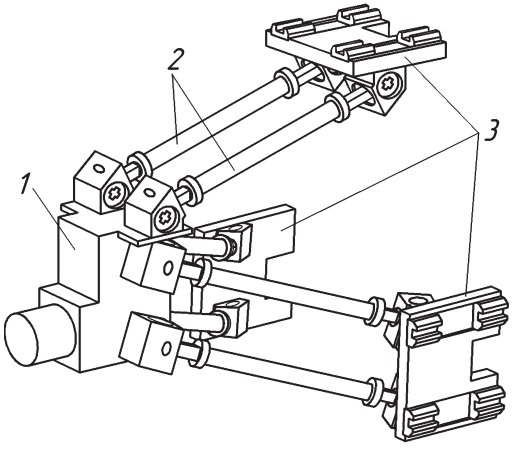


Рис. 20.10. Структурная схема станка типа Quickstep HS 500

В схеме на рис. 20.11 применяется структура типа «Дельта» на основе вращательных приводных механизмов. Выходное звено *1* связано с основанием *5* с помощью трех

кинематических цепей. Каждая кинематическая цепь также имеет парные штанги *2*. Штанги изаимодействуют с рычагом *3*, приводимым в движение приводом *4*. В данной схеме для передачи вращения к шпинделю выходного звена используется вал переменной длины *7* с приводом *6*, установленным на основании. Схема «Дельта» обеспечивает более высокую жесткость механизма, так как в каждой кинематической цепи нагрузки воспринимаются парой штанг.

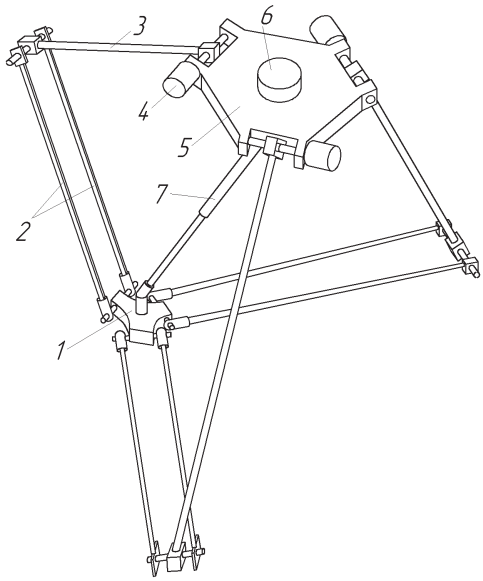


Рис. 20.11. Структурная схема станка типа DELTA

Рассмотрим различные схемы триподов. *В первом примере* (рис. 20.12, *а*) выходное звено *1* связано с основанием *2* тремя кинематическими цепями. Каждая кинематическая цепь состоит из двух штанг *3* и *4*, которые соединены между собой сферическим шарниром. Штанги *3* и *4* связаны с выходным звеном *1* и с основанием *2* вращательными парами. Привод может быть установлен в одной из вращательных пар каждой из кинематических цепей. *Во втором примере* (рис. 20.12, *б*) выходное звено *1* взаимодействует с основанием *2* тремя кинематическими цепями, причем штанга *3* связана с желобом *4* выходного звена сферой так, что сфера может не только вращаться вокруг трех взаимноперпендикулярных осей, но и перемещаться вдоль желоба. Другая часть штанги *3* установлена в отверстии детали *5*, и штанга может перемещаться вдоль своей оси от соответствующих приводов.

В схеме триптерона (рис. 20.13) выходное звено *1* связано с основанием *2* тремя кинематическими цепями. Кинематические цепи триптерона содержат по две штанги *3* и ползун *5*, который перемещается по направляющей *4*. Все эле-

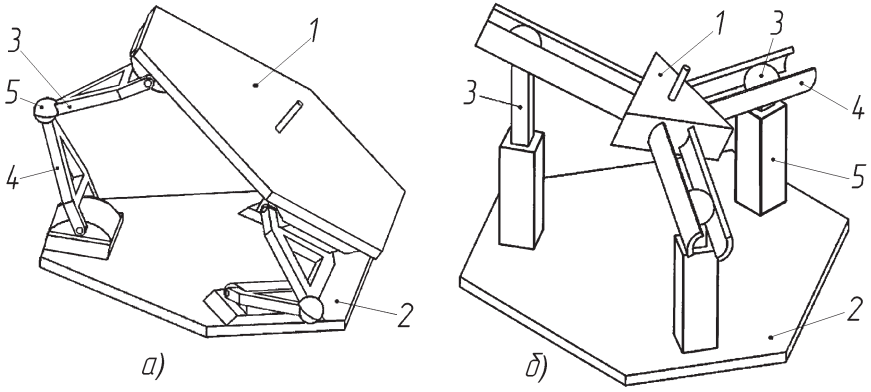


Рис. 20.12. Примеры структур триподов

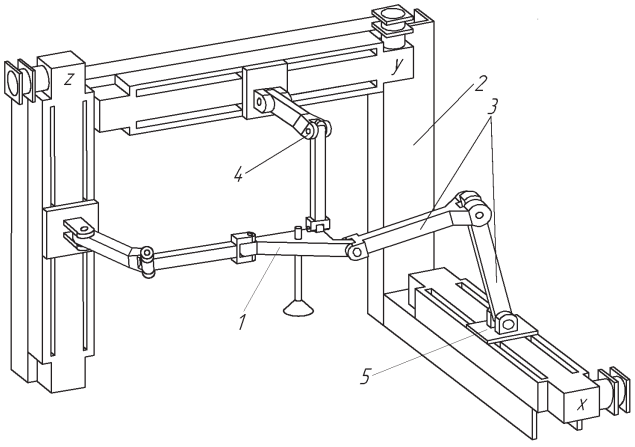


Рис. 20.13. Структура параллельной кинематики триптерона

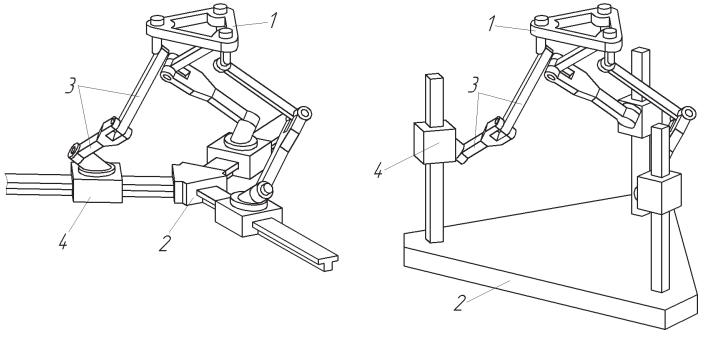


Рис. 20.14. Примеры структур триптеронов

менты цепи соединены между собой только вращательными кинематическими парами *5*. Отличительная особенность триптерона — это то, что оси всех кинематических пар *5* в каждой цепи параллельны друг другу и ось перемещения соответствующего ползуна также параллельна осям пар *5*. В результате этого при перемещении одного из ползунов выходное звено перемещается только вдоль одной из осей, параллельной оси перемещения ползуна. Таким образом получается линейная зависимость между координатами положения выходного звена и перемещениями ползунов по направляющим, что нехарактерно для структур параллельной кинематики. Данная структура эффективна при трех взаимноперпендикулярных перемещениях рабочего органа.

На схемах (рис. 20.14) приведены варианты структур триптерон с разной геометрией. Здесь выходное звено *1* связано с основанием *2* также тремя кинематическими цепями со штангами *3* и ползуном *4*. Оси кинематических пар цепей параллельны между собой, но, в отличие от предыдущей структуры, они скрещиваются с соответствующими осями перемещения ползунов.

Трицепты. Кроме триподов существует еще и вторая группа оборудования параллельной кинематики, которая получила название *трицепты*. Они содержат центральную кинематическую цепь, не имеющую привода. Такая цепь вы-

полнена на основе массивной трубы, как правило, с бóльшим диаметром, чем другие кинематические ветви. Она предназначена для восприятия изгибных деформаций. Конструкция отличается от триподов характером нагрузок, которые воспринимают кинематические цепи. Так, например, приводные цепи трицепта работают в основном на растяжение и сжатие (изгибные нагрузки воспринимает центральная кинематическая цепь без привода), в то время как у трипода они работают еще и на кручение. В качестве примера приведен трицепт Tricept TR805 фирмы NEOS Robotics (рис. 20.15), который выполнен в виде отдельного технологического модуля.

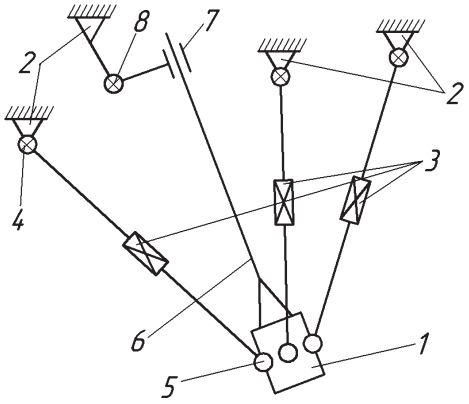


Рис. 20.15. Структурная схема станка типа трицепт Tricept TR805 фирмы NEOS Robotics

Выходное звено *1* связано с основанием *2* четырьмя кинематическими цепями. Три цепи выполнены в виде штанг переменной длины с приводами *3*, причем эти штанги *3* связаны с основанием *2* карданными шарнирами *4*, а с выходным звеном — сферическими шарнирами *5*. Одна из кинематических цепей выполнена в виде массивной трубы *6* без привода, которая жестко связана с выходным звеном *1*. Труба *6* может свободно перемещаться вдоль оси втулки *7*, но не может совершать поворот вокруг ее оси. Втулка *7* связана с основанием *2* карданным шарниром *8*. Благодаря такой структуре центральная кинематическая цепь воспринимает все изгибные нагрузки, что позволяет повысить жесткость станка. Все трицепты оснащены дополнительной насадкой на выходном звене, которая предназначена для изменения угловой ориентации шпинделя.

Четырехподы. В качестве примера можно привести обрабатывающий центр (Китай) (рис. 20.16). Выходное звено *1* связано с основанием четырьмя кинематическими цепями. Каждая кинематическая цепь содержит штангу постоянной длины *2* и ползун *3*, перемещающийся по направляющим *4*. Соединение штанг с выходным звеном осуществляется сферическими шарнирами с тремя степенями свободы, шарнирные соединения штанг с ползунами в двух цепях имеют одну степень свободы, а в оставшихся — две степени свободы. Центры закрепления двух кинематических цепей с выходным звеном совпадают. Такой механизм имеет четыре степени свободы, а именно: перемещения по осям *Y* и *Z* и вращение вокруг осей *X* и *Y*. Перемещение по оси *X* достигается подвижным столом. Максимальная скорость движения выходного звена 30 м/мин, ускорение 5 м/с^2, объем рабочего пространства 800×500×600 мм.

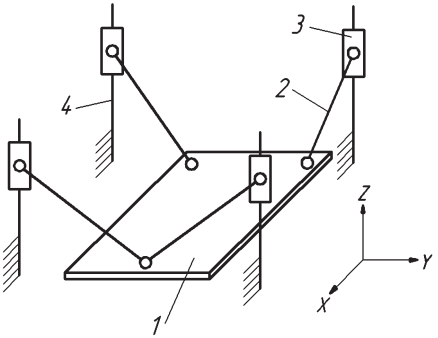


Рис. 20.16. Станок на основе четырехпода

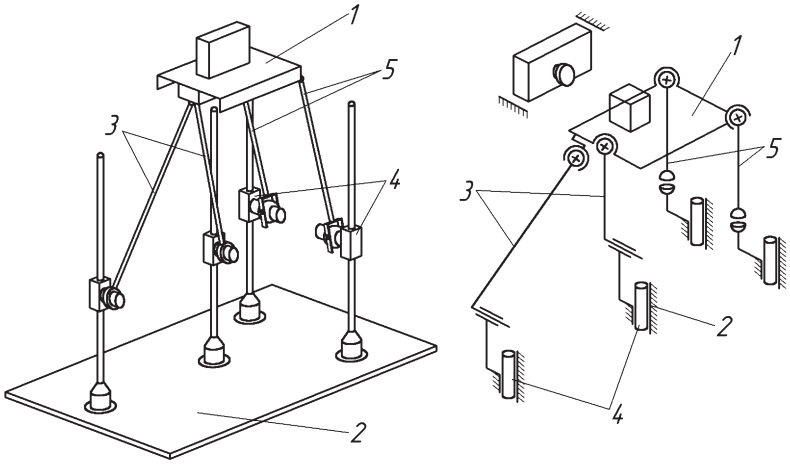


Рис. 20.17. Экспериментальная структура четырехпода

Примером экспериментальной структуры четырехпода является механизм с четырьмя кинематическими цепями в виде штанг постоянной длины (рис. 20.17). Выходное звено *1* связано с основанием *2* четырьмя кинематическими цепями. Две из них содержат штанги постоянной длины *5*, которые соединены с выходным звеном сферическими шарнирами, а с ползунами — посредством карданных шарниров. Другие две кинематические цепи содержат штанги постоянной длины *3*, которые связаны с выходным звеном сферическими шарнирами, а с ползунами *4* — вращательными парами. Выходное звено данной структуры имеет два поступательных перемещения и два вращения.

Пентаподы. Примером станка на основе пентапода является модель Triomaxx. Выходное звено этого станка связано с основанием тремя кинематическими цепями в виде штанг переменной длины через карданные шарниры. Цепи имеют два привода, один из которых изменяет длину штанги, а другой — угловую ориентацию шарнира вокруг оси штанги. В результате штанги работают не только на растяжение и сжатие, но и на кручение.

Примером пентапода служит разработанный в Германии обрабатывающий центр METROM (рис. 20.18). Структура имеет пять степеней свободы (в данном случае невозможно вращение вокруг оси шпинделя). Выходное звено *1* выполнено в форме цилиндра, в котором установлен шпиндель. На разных уровнях цилиндра установлены кольца *2* так, что они могут вращаться вокруг своих осей. Оси колец совпадают с осью цилиндра. Штанги *4* соединены с кольцами с помощью шарниров *3* с одной степенью свободы. Каждое кольцо имеет один шарнир *3*. Оси вращения шарниров *3* лежат в плоскостях соответствующих колец, т.е. в плоскостях, перпендикулярных оси шпинделя. Штанги *4* представляют собой шариковую винтовую передачу, в которой гайка выполнена за одно целое с ротором двигателя *6*. Конструкция шарниров *5* выполнена так, что двигатель *6* расположен в конструкции самого шарнира. В случае, если все кольца *2* смогут вращаться вокруг оси шпинделя, то появляется неопределенность угловой координаты вращения вокруг оси шпинделя. При любом положении выходного звена

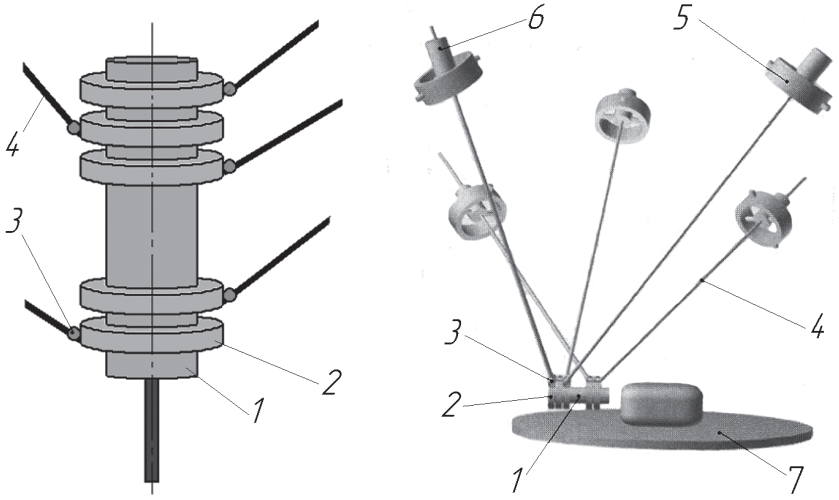


Рис. 20.18. Структурная схема станка типа METROM

цилиндр шпинделя может вращаться вокруг своей оси; в этом случае проводить обработку невозможно. Для устранения этого недостатка одно из колец жестко фиксируется с цилиндром; таким образом, получается механизм параллельной кинематики с пятью степенями свободы. Основным преимуществом такой структуры являются большие углы наклона шпинделя, которые могут достигать значений 90° и более. Для расширения технологических возможностей станка стол *7* вращается вокруг свой оси.

Гексаподы. Из всех ранее рассмотренных механизмов биподов, триподов и др., гексаподы наиболее полно реализуют в себе все преимущества механизмов параллельной кинематики. Так, например, при достаточно высокой жесткости конструкции и относительной простоте получаем механизм, с помощью которого можно ориентировать выходное звено по шести степеням свободы. Наибольшее распространение получили станки на основе структур МПК с переменными длинами штанг на основе шариковых винтовых передач (с телескопическими штангами) (см. рис. 20.2). С использованием такой структуры выполнено оборудование Mikromat 6X Hexa. Размеры рабочей зоны 630×630×630 мм, предельные углы поворотов шпинделя 30°; скорость подачи 30 м/мин; ускорение 1 g; максимальная частота вращения шпинделя 30 000 мин$^{-1}$. Станок оснащен системой обработки данных, что позволяет компенсировать изменения ряда его характеристик, которые возникают в процессе эксплуатации. Для этого в каждой штанге установлен лазерный интерферометр. Так, например, в процессе работы станка возникают тепловые деформации, приводящие к удлинению штанг. Система обработки данных позволяет проводить корректировку длин штанг. Учитываются тепловые изменения размеров других деталей, износ, погрешности шариковых винтовых передач и т.п.

Станки, сочетающие в себе координатную измерительную машину и технологический модуль, разработаны АО «ЛАПИК» (Саратов, Россия). Выпущен ряд модификаций оборудования. На станках можно выполнять операции фрезеро-

вания, сверления, растачивания, разметку и измерение деталей. В конструкции станка используются штанги с фрикционным приводом в виде стержней, которые связаны с электродвигателями постоянного тока. В каждой кинематической цепи установлена система обратной связи. Для этого используется лазерный интерферометр на основе гелий-неонового лазера и оптоволоконных световодов. В результате этого точность позиционирования рабочих узлов по осям координат достигает 0,8 мкм. Система управления станка имеет функцию саморегулирования, что позволяет обеспечить стабильную точность благодаря устранению погрешностей, которые вызваны деформациями. Система позволяет компенсировать погрешности обработки, учитывая температуру, влажность и атмосферное давление. Модель ТМ-750 имеет объем рабочего пространства 750×550×450 мм. Максимальный угол наклона выходного звена 30°.

Следующая группа гексаподов основана на МПК с постоянными длинами штанг по аналогии со схемой на рис. 20.17.

20.3. Состав и основные узлы исполнительных механизмов

В технологическом оборудовании на основе параллельной кинематики можно выделить две группы узлов — это приводные кинематические пары (приводы) и кинематические пары без привода (шарниры) (рис. 20.19, 20.20). Шарниры используются с одной, двумя и тремя степенями свободы, т.е. кинематические пары первого, второго и третьего родов. Кинематические пары *первого рода* могут быть вращательными (В) и поступательными (П). Кинематические пары *второго рода* могут быть образованы комбинацией вращательной и поступательной пар (ВП) или двумя вращательными парами (ВВ). Сочетание двух поступательных пар в станках не применяется.

Кинематические пары *третьего рода* образуются комбинациями с тремя степенями свободы, приведенными на схеме (см. рис. 20.22). Комбинации ВПП и ППП в станках не применяются, а комбинация ВВП используется крайне редко.

Приводы также можно подразделить по числу степеней их свободы, а именно с одной, двумя и тремя степенями свободы. Привод с одной степенью свободы представляет собой вращательную (В) или поступательную (П) пару. Привод с двумя степенями свободы может быть реализован, например, в виде карданного шарнира с установленными приводами для каждой из двух осей поворота (ВВ). Но такие приводы, а также с тремя степенями подвижности, не применяются в виду их конструктивной сложности.

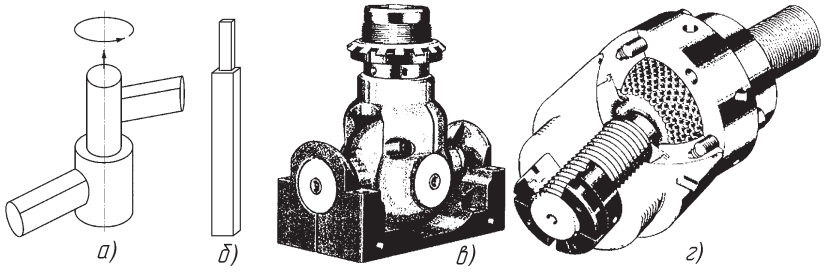


Рис. 20.19. Кинематические пары, используемые в МПК

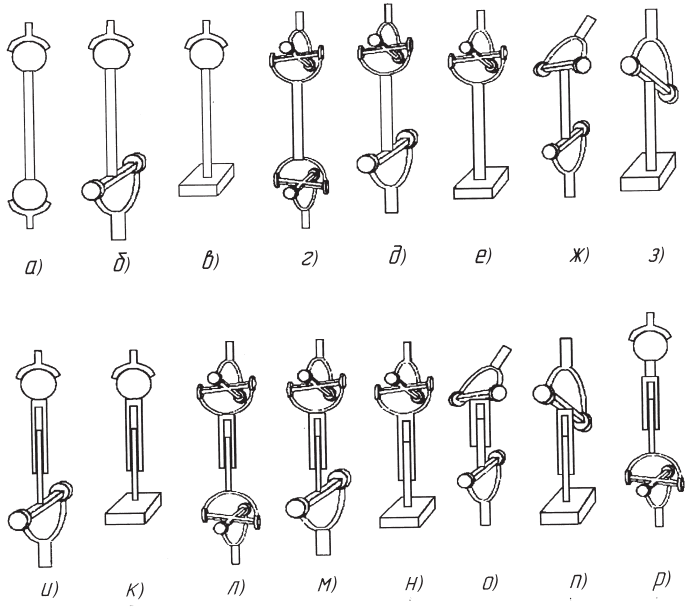


Рис. 20.20. Примеры структур кинематических цепей

В основе рассматриваемых механизмов лежит набор шарнирных соединений между звеньями. Наиболее распространены кинематические пары вращательная (рис. 20.19, *а*) и поступательная (рис. 20.19, *б*), шарниры карданный (рис. 20.19, *в*) и сферический (рис. 20.19, *г*). При этом вращательная и поступательная пары используются, как правило, в качестве приводных пар.

Для условной записи структур технологического оборудования параллельной кинематики вводятся следующие обозначения: *К* — карданный шарнир, *С* — сферический шарнир, *В* — вращательная пара, *П* — поступательная пара, *Б* — основание или база, *ВЗ* — выходное звено, *РС* — стол для заготовок, или рабочий стол. Пара с приводом подчеркивается. Элементы конструкции между шарнирными соединениями обозначаются чертой. Используя такой подход, форму структуры штанги переменной длины гексапода (см. рис. 20.2) можно записать как *Б—К—П—С—ВЗ*. Эту же запись можно выполнить, используя только обозначения одностепенных пар и отделением скобками пар, образующих группы, а именно: *Б—(ВВ)—П—(ВВВ)—ВЗ*. При записи *Б—(В—В)—П—(ВВВ)—ВЗ* две выделенные скобками вращательные пары не образуют карданный шарнир. Подобные записи можно использовать для обозначения любых последовательностей связей. Также можно использовать матрицы или векторы для записи структур механизмов. Например, можно в виде вектора записать структуру гексапода, тогда каждый элемент вектора будет содержать форму структуры каждой кинематической цепи. Это целесообразно применять в том случае, если структуры цепей различаются, но если они одинаковы, то можно указывать число цепей, например, так: $(Б—К—П—С—ВЗ)_6$.

На рис. 20.20 приведен ряд структур кинематических цепей, которые могут применяться в станках с МПК. Приведенный набор представляет собой

лишь небольшую часть возможных вариантов. Структуры цепей, например, на рис. 2.20, *а*, *б, к, н, п*, как правило, используются в качестве пассивных кинематических цепей, т. е. кинематических цепей без приводов; используя кинематическую цепь на рис. 2.20, *н*, можно реализовать трипод с четырьмя кинематическими цепями, три из которых будут содержать привод (схема «*р*»), а четвертая будет иметь структуру согласно схеме «*н*» и позволит ограничить возможные перемещения выходного звена. Полученный трипод будет иметь структуру

$$\begin{pmatrix} (Б-К-\underline{П}-С-ВЗ)_3 \\ Б-П-К-ВЗ \end{pmatrix}.$$

Комбинируя различные структуры кинематических цепей, которые будут удовлетворять условиям [(20.3) см. с. 460], можно получить широкий набор возможных вариантов структурных исполнений оборудования на основе параллельной кинематики.

20.4. Конструкции типовых узлов

Выпускаются гаммы шарниров с двумя и тремя степенями свободы и ряд других элементов типовых узлов структур станков с МПК. Приведем некоторые примеры элементной базы для МПК, выпускаемой фирмой INA. На рис. 20.21, *а* показаны карданные шарниры с тремя степенями подвижности. В корпусе *1* на роликах *2* установлена цилиндрическая деталь *3*, которая может поворачиваться вокруг оси *4*. Эта деталь состоит из двух половинок. В пазу детали *3* установлен рычаг *5* на роликах *6*. Таким образом, рычаг *5* может поворачиваться вокруг оси *7*. В результате рычаг *5* может изменять свою угловую ориентацию относительно корпуса *1* вокруг двух взаимно-перпендикулярных осей *4* и *7*.

Предусмотрено также поворотное кольцо *8*, обеспечивающее третью степень свободы. Если кольцо *8* отсутствует, то реализуются две степени подвижности.

Конструкция шарнира по схеме рис. 2.21, *б* аналогична, но только на рычаге *1* установлено кольцо *3* на роликах *2*. Таким образом, оно может вращаться вокруг оси *4*. В результате кольцо *3* может изменять свою угловую ориентацию относительно корпуса вокруг трех взаимно-перпендикулярных осей.

В табл. 20.1, 20.2 приведены геометрические размеры шарниров (рис. 20.22), а также предельные углы α, β, γ поворотов вокруг соответствующих осей.

Наиболее часто в качестве шарнирных соединений с тремя степенями свободы применяют сферические шарниры (рис. 20.22). Корпус *1* состоит из двух полусфер. В нем установлена сфера *2* с цилиндрической частью, на которой нарезана резьба. Между сферой *2* и корпусом *1* расположены тела качения *3*. Цилиндрическая часть сферы *2* используется для крепления полусферы *4*. В результате полусфера *4* относительно корпуса *1* может изменять свою угловую ориентацию вокруг трех взаимно-перпендикулярных осей. Некоторые параметры сферических шарниров приведены в табл. 20.2.

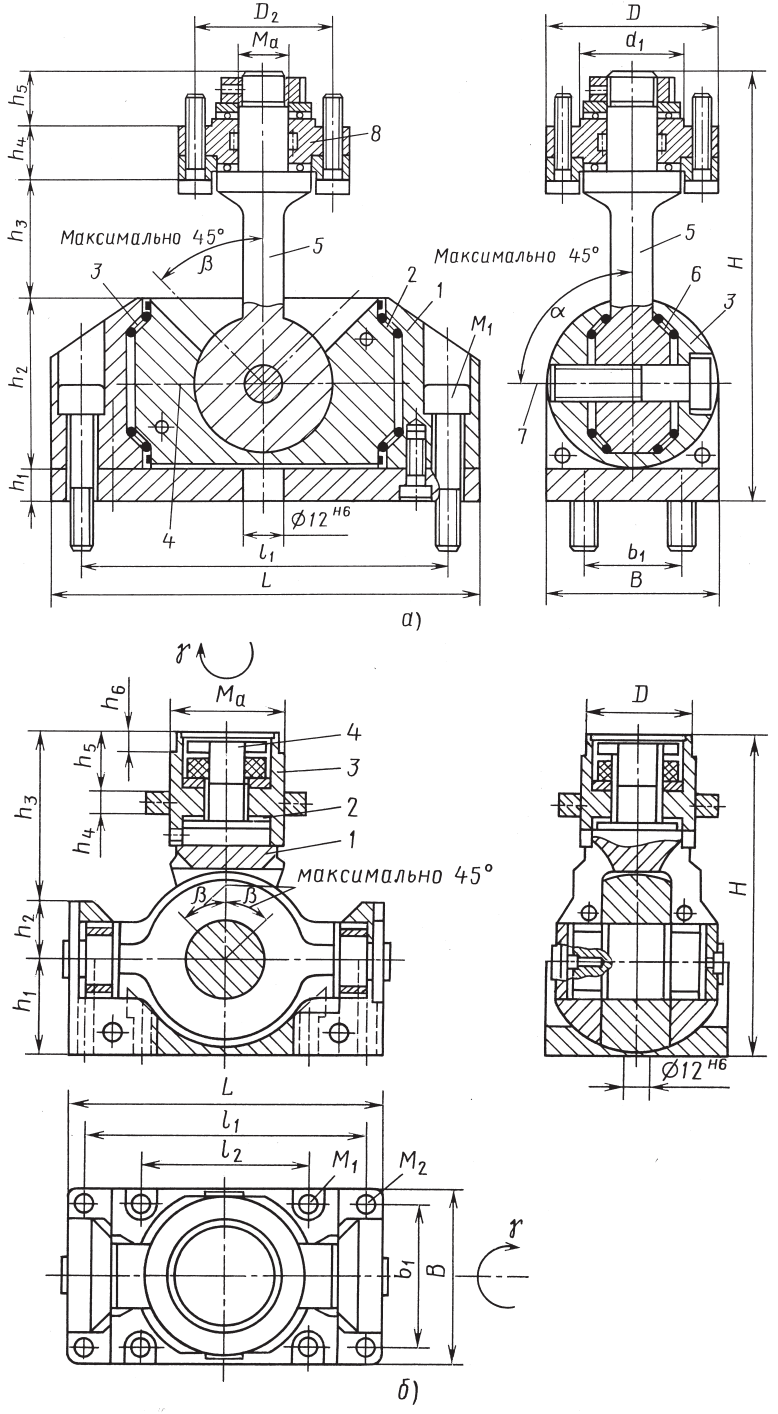


Рис. 20.21. Конструкции шарниров с тремя степенями свободы на основе схемы карданного шарнира

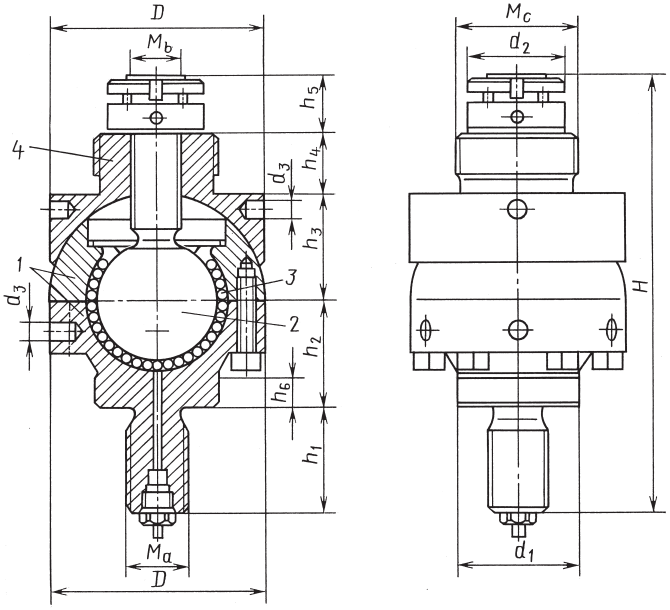


Рис. 20.22. Конструкция сферического шарнира с тремя степенями свободы

20.1. Геометрические размеры шарниров (см. рис. 20.21)

Номер	m, кг	α×β×γ, °	Размеры						
			L	l_1	l_2	B	b_1	H	h_1
1	3	90×45×360	125	107	—	50	28	126	10
2	3	90×45	125	107	—	50	28	115	10
3	7	90×45×360	150	135	80	85	70	155	45
4	7	90×45	150	135	80	85	70	155	45
5	14	90×45	200	180	120	110	90	215	60
6	14	90×45×360	200	180	120	110	90	215	60

Номер	Размеры							Резьба		
	h_3	h_4	h_5	h_6	D	d_1	D_2	M_a	M_1	M_2
1	34,5	15,5	16	—	50	30	40	M15×1	M8×40	—
2	40	10	5	—	50	30	40	—	M8×40	—
3	82	11	25	10	52	—	—	M56×2	M8×30	M8×60
4	82	11	25	10	52	—	—	M56×2	M8×30	M8×60
5	115	13,5	38	15	60	—	—	M65×2	M12×40	M12×80
6	115	13,5	38	15	60	—	—	M65×2	M12×40	M12×80

На рис. 20.23 показана конструкция телескопической штанги фирмы INA. Винт *1* и гайка *2* образуют шариковую винтовую передачу. С гайкой соединена труба *3*, на которой выполнены продольные пазы *4* для предотвращения вращения трубы вокруг своей оси. Труба *3* может совершать поступательные переме-

20.2. Геометрические размеры шарниров (см. рис. 20.22)

Номер	m, кг	α×β×γ, °	Размеры					
			H	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
1	2,3	20×20×360	144	35	35	35	20	19
2	4,5	20×20×360	185	40	50	44	30	21

Номер	Размеры					Резьба		
	h_6	D	d_1	d_2	d_3	M_a	M_b	M_c
1	10	70	40	32	6	М20×1,5	М17×1	М40×1,5
2	10	90	55	45	6	М25×1,5	М25×1,5	М56×2

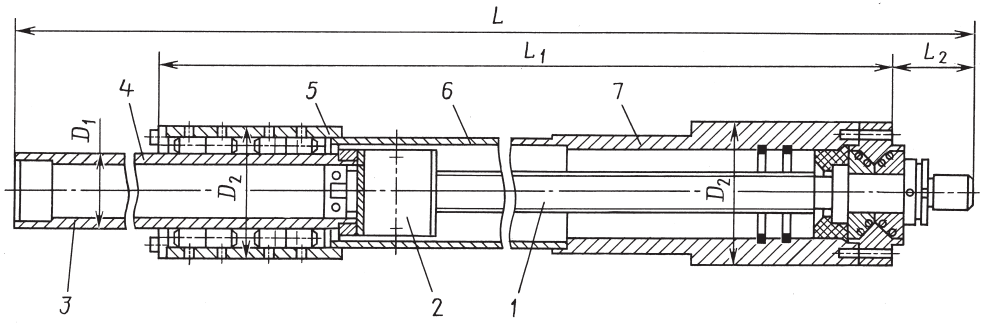


Рис. 20.23. Конструкция телескопической штанги

щения вдоль своей оси, поэтому при вращении винта *1* гайка *2* и труба *3* перемещаются в зависимости от направления вращения. В результате труба *3* либо выдвигается, либо вдвигается в корпус штанги, состоящей из кольца *5* и двух труб *6* и *7*.

Некоторые геометрические размеры телескопической штанги приведены в табл. 20.3.

20.3. Размеры телескопической штанги

Номер	D_1	D_2
1	50	75
2	70	120

Длины L_1 и L_2 выполняются в зависимости от геометрических требований проектируемого оборудования. Значение длины L изменяется от некоторого минимального значения $L_{\min} \geq L_1 + L_2$ до некоторого $L_{\max}$. Как правило, выполняется условие $L_{\min} = (0{,}6\ldots0{,}7)L_{\max}$.

Для привода главного движения в технологическом оборудовании используется только мотор-шпиндель. В целях расширения технологических возможностей можно использовать дополнительные насадки в виде вращательных кинематических пар с приводами, которые устанавливаются на выходное звено и позволяют дополнительно изменять углы наклона оси шпинделя. Это, однако, усложняет конструкцию и ведет к снижению общей жесткости структуры станка.

Станина такого оборудования выполняется сборной в виде объемной рамы или в виде стержневой конструкции, в узлах которой располагаются шарниры для крепления кинематических цепей. Все это позволяет уменьшить общую массу технологического оборудования и значительно понизить металлоемкость станка.

20.5. Исполнительные приводы и системы контроля параметров

В качестве исполнительных приводов для станков с параллельной кинематикой используют двигатели постоянного и переменного тока, а также шаговые и линейные приводы. В первом случае двигатели используются в сочетании с передачей винт—гайка (чаще всего ШВП) и реже с фрикционными передачами при небольших усилиях (около 100 Н) на привод и высокой точности перемещения (до 1 мкм). Использование линейных приводов позволяет исключить применение различного рода вспомогательных передач, так как не требуется преобразование движений. Принципиально возможно использовать и другие тяговые устройства, в частности поршневого типа, с пневмо- или гидроприводом.

Для контроля положения выходного звена структур параллельной кинематики технологического оборудования применяются те же датчики обратной связи, которые применяются и в технологическом оборудовании традиционной компоновки. Для контроля кинематических цепей в виде штанг переменной длины (телескопических штанг) широкое распространение нашли лазерные интерферометры, использование которых позволяет учитывать не только погрешность позиционирования приводов и упругие деформации штанги, но и тепловые деформации, в результате которых изменяется длина штанг. На кинематических цепях со штангами постоянной длины датчики устанавливаются для контроля положения ползунов на направляющих (для поступательной приводной пары) или для контроля угла поворота (для вращательной приводной пары). В таких цепях, как правило, не контролируется длина штанги, и поэтому не учитываются ее деформации и изменение длины в результате нагрева. Это связано с тем, что штанга выполнена в виде цельного элемента, не содержащего источники тепла, что позволяет обеспечить большую жесткость и не вызывает сильного ее нагрева.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

Сверхточные станки

21.1. Общие сведения

Развитие наукоемких отраслей промышленности потребовало создания принципиально нового сверхпрецизионного оборудования, которое характеризуется целым рядом специфических особенностей.

Номенклатура деталей. Традиционными изделиями, изготовляемыми на сверхточных станках, являются детали оптической аппаратуры, диски памяти компьютеров, детали насосов и медицинской техники, устройства для биологических исследований и т.п. Обрабатываются: плоские поверхности (на оптических изделиях, дисках памяти и т.п.); сферы, асферические поверхности с небольшим отклонением от сферы и поверхности переменной кривизны (на линзах, деталях телескопов и др.); цилиндрические поверхности (золотники, детали медицинской техники).

Обобщенные требования к точности и качеству поверхности. Допускаемая погрешность формы 0,01…0,1 мкм (10…100 нм), шероховатость Ra = = 0,002…0,01 мкм (2…10 нм). Ориентировочно требуемая точность изготовления (погрешность формы), выраженная в нанометрах, составляет 0,1 размера заготовки, выраженного в миллиметрах.

Требования к материалу заготовок. На сверхточных станках обрабатывают детали из бериллия, силикатного титана, сервита 101, различных материалов (например, алюминия) с покрытиями и др. Основные требования предъявляют к обрабатываемости и химическому составу материала. Трудности обработки связаны с малым сечением (примерно 20 мкм^2) стружки, которая формируется внутри отдельных монокристаллов, имеющих разную ориентацию (следствием является непостоянство модуля упругости поверхностного слоя), поэтому желательно, чтобы обрабатываемый материал имел изотропную (однородную) структуру. Разброс механических и физических свойств материала заготовок не должен превышать 0,1% номинала; температурный коэффициент α линейного расширения должен быть возможно меньше (в идеале близким к нулю).

Основные проблемы сверхточной обработки. Прогресс сверхточной обработки (нанотехнологии) связан с решением следующих важнейших задач:

- с совершенствованием методов формообразования (выбор метода образования поверхностей, режимов резания, СОЖ и т.п.);
- с изучением свойств обрабатываемого материала и инструмента; учет специфических особенностей конструкции станков (компоновка, материал деталей, опоры и т.п.);

• с созданием стабильных внешних условий (температуры, влажности, шума, уровня вибраций);

• с особенностями контроля и испытаний станков.

21.2. Методы обработки

В настоящее время применяются в основном три метода обработки:

• лезвийная обработка (алмазное строгание, фрезерование летучим алмазным резцом, алмазное точение);

• абразивная обработка (шлифование, обработка потоком свободного абразива, доводка и полирование);

• электрофизическая обработка (электроэрозионная обработка, обработка пучком ионов и рентгеновским излучением, электроабразивное полирование).

Особенности лезвийной обработки. Основные преимущества лезвийной обработки — высокие производительность и качество поверхностного слоя. В этих целях используется в основном однолезвийный алмазный инструмент из лучших сортов природного алмаза, кристаллы которого имеют острую режущую кромку. Радиус r_c скругления вершины инструмента должен быть примерно в 5 раз меньше требуемого значения *Ra* обрабатываемой поверхности; в противном случае последняя может быть повреждена из-за налипания частиц обрабатываемого материала и микросколов как алмаза, так и обрабатываемого материала. Полирование инструмента чугунным притиром позволяет получить $r_c = 3…5$ нм; меньшие значения обеспечиваются при обработке пучком ионов. Установлено, что при использовании такого инструмента даже в широком интервале изменения скоростей резания ($\upsilon = 120…3600$ м/мин) она мало влияет на шероховатость обработанной поверхности. Стойкость высококачественного монокристаллического алмазного инструмента достигает 1500 км пробега режущей кромки при охлаждении распыленным спиртом или минеральным смазочным маслом с регулированием его температуры.

Режимы резания. При обработке цветных металлов $\upsilon = 120…4000$ м/мин; при обработке стекла и керамики $\upsilon = 15…120$ м/мин. Подачу выбирают в пределах 0,1…10 мкм/об (она зависит от радиуса r_c); глубина резания $t = 0{,}05…0{,}1$ мкм. Максимальная сила резания может достигать нескольких десятков ньютонов.

Основные методы формообразования при лезвийной обработке. Плоские торцовые поверхности обрабатывают традиционным методом — при вращении заготовки и радиальной подаче инструмента (токарная обработка). Сферические (или асферические с отклонением от сферы на 20…30 мкм) поверхности получают двумя методами:

1) с помощью системы ЧПУ с высокой (до 0,01 мкм) точностью позиционирования по координатам вдоль оси шпинделя и перпендикулярно к ней; при этом в центре заготовки образуется дефектный слой (более грубая шероховатость), так как $\upsilon \to 0$;

2) благодаря реализации теоретически точных формообразующих движений.

Идея последнего метода состоит в использовании того факта, что любое

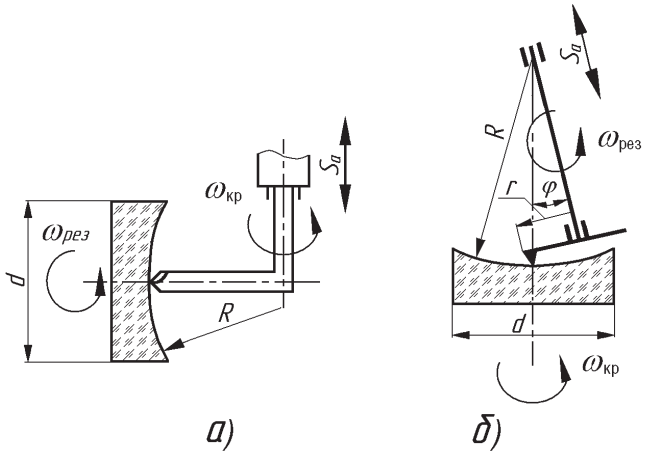


Рис. 21.1. Схемы токарной (*а*) и фрезерной (*б*) обработки сферических поверхностей при реализации теоретически точных формообразующих движений

сечение шара плоскостью представляет собой точную окружность. При токарном варианте (рис. 21.1, *а*) обработка осуществляется за один проход инструмента с круговой подачей $\omega_{кр}$. Получение асферических поверхностей возможно при дополнительной подаче S_a инструмента (без системы ЧПУ, например посредством пьезопривода). При таком методе обработки радиус R сферы изменяется в пределах 10…200 мм, а диаметр d изделия, вращающегося с угловой скоростью $\omega_{рез}$, 10…100 мм. При фрезерном варианте (рис. 21.1, *б*) радиус $R = r/\sin\varphi$ (где r — радиус инструмента) образуется благодаря установке инструмента под углом φ при его непрерывном вращении с угловой скоростью $\omega_{рез}$ и круговой подаче $\omega_{кр}$ заготовки. В этом случае $R = 0{,}8…30$ м; $d = 100…600$ мм.

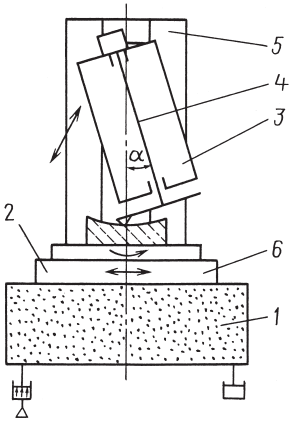


Рис. 21.2. Принципиальная схема станка для обработки сферических поверхностей

Принципиальная схема станка для обработки сферических поверхностей с диаметром сферы от 1,6 до 30 м и диаметром изделий от 100 до 600 мм приведена на рис. 21.2 (станок работает по методу, иллюстрированному на рис. 21.1, *б*). Основание *1* станка выполнено из гранита и установлено на пневмоопорах. Шпиндель *4*, как и поворотный стол *6*, вращается на аэростатических подшипниках. Шпиндель установлен в корпусе *3*, который может точно поворачиваться на угол α (для получения сферы) относительно стойки *5*; продольные перемещения салазок *2* и вертикальное перемещение корпуса *3* производятся по аэростатическим направляющим. В станке предусмотрено лазерное устройство для контроля точности сферической поверхности.

Особенности абразивной обработки. В качестве предварительной операции используют шлифование, в качестве окончательной (при допускаемой погрешности формы менее 0,5 мкм) — доводку. При абразивной обработке можно

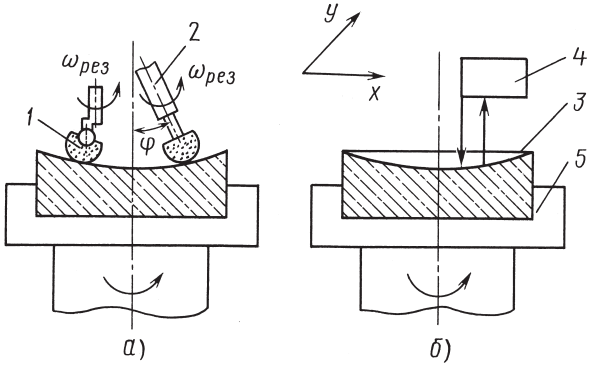


Рис. 21.3. Схемы полирования (*а*) и измерения (*б*) сферических зеркал

изготовлять более крупные детали, чем при лезвийной; стойкость абразивного инструмента выше, чем стойкость лезвийного, а эксплуатация станков для абразивной обработки проще.

Размер зерна шлифовального круга должен составлять 0,1…3 мкм. Правка и очистка такого круга обычными способами малоэффективны, поэтому для них часто используют вспомогательный круг с большей зернистостью, чем у рабочего круга. Более крупные зерна вспомогательного круга разрушаются при правке, образуя мелкие осколки абразива, которые очищают пространство между зернами рабочего круга. Методом шлифования обычно обрабатывают цилиндрические поверхности при $v = 25…35$ м/с; $t = 0{,}02…0{,}07$ мм на черновой операции и 3…10 мкм на чистовой операции. При доводке брусками $v = 10 … 50$ м/мин; интенсивность съема материала составляет 0,1…1 мкм/мин. При полировании сферических зеркал (рис. 21.3, *а*) требуемое расположение круга *1* по нормали к обрабатываемой поверхности достигается либо благодаря его самоустановке (схема слева), либо путем наклона полировальной головки *2* на угол φ от системы ЧПУ (схема справа). Такой метод изготовления основан на измерении погрешности поверхности *3* (рис. 21.3, *б*) с помощью лазерного интерферометра *4* при перемещении последнего по координатам *X* и *Y* или при перемещении по одной координате (*X* или *Y*) с поворотом стола *5*. Результаты измерения поверхности зеркала запоминаются в аналоговом или цифровом устройстве, после чего проводится обработка. По команде от системы ЧПУ круг подводится к областям зеркала, в которых отмечено максимальное отклонение от заданной формы, и производится съем материала. Далее поверхность снова контролируется и операция обработки повторяется. Таким образом, методом последовательных приближений добиваются требуемой точности.

Съемом Δh материала можно управлять, изменяя параметры процесса обработки: $\Delta h = CK_1K_2pvT$, где C — технологическая постоянная; K_1, K_2 — коэффициенты, зависящие от свойств круга и материала заготовки; p — давление в зоне контакта круга с заготовкой; v — скорость резания; T — время контакта круга с заготовкой. Наиболее часто варьируют давление p (преимущественно) и время T.

На рис. 21.4 приведена схема станка для доводки алюминиевых дисков памяти абразивными брусками *1*. Вертикальное точное перемещение S (до 30 нм)

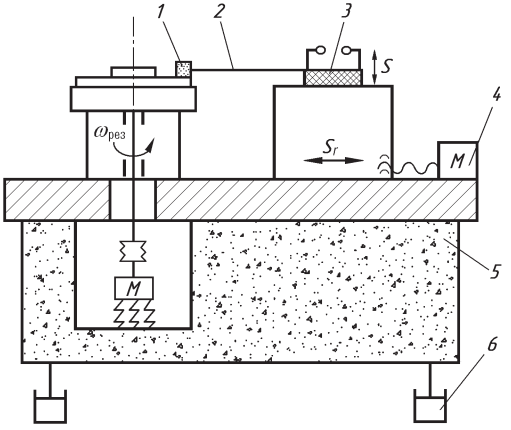


Рис. 21.4. Принципиальная схема станка для доводки дисков памяти абразивными брусками

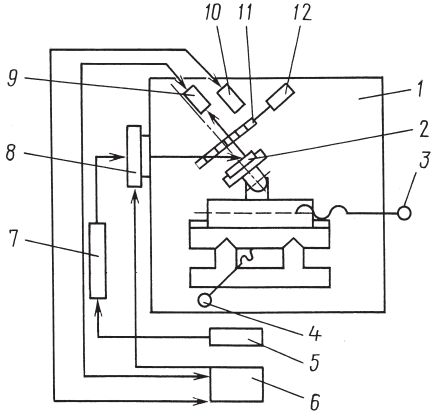


Рис. 21.5. Схема обработки пучком ионов

брусков осуществляется пьезоприводом *3*, с которым бруски связаны посредством гибких пластин *2*. Радиальное (более грубое) перемещение S_r брусков осуществляется приводом *4*. Узлы станка установлены на гранитном основании *5*, которое, в свою очередь, опирается на пневмоопоры *6*. Качество обработки (шероховатость) контролируется акустическим датчиком, установленным на пластине *2* (на рис. 21.4 не показан). Станок позволяет получить плоские поверхности с погрешностью около100 нм и шероховатостью *Ra* около 15 нм.

Особенности электрофизической обработки. Обработка поверхностей пучком ионов. Наибольшее распространение среди электрофизических методов получило электроабразивное полирование. Его сущность заключается в том, что возникающая в результате электролиза пленка оксидов удаляется с обрабатываемой поверхности с помощью абразива. Представляет интерес доводка поверхностей с помощью источника ионов (рис. 21.5). Заготовку *2* после предварительной операции, например шлифования, помещают в вакуумную камеру *1*, обеспечивающую вакуум $1{,}33 \cdot 10^{-3}$ Па. В результате теплового воздействия высокоэнергетического (до 30 кэВ) ионного пучка на заготовку осуществляется эффективный съем поверхностного слоя с интенсивностью 1…5 мкм/ч. При этом достигается точность формы до 10 нм и выше. В процессе работы источник *8* ионов (ионная пушка) посылает пучок ионов на заготовку. Интенсивность воздействия регулируется маской *11*; управление процессом обработки осуществляется от ЭВМ *6* и программного блока *5*. В зависимости от результатов измерений формы обрабатываемой поверхности, осуществляемых лазерным интерферометром *9*, производится управление маской (с помощью привода *12*), положением заготовки (с помощью приводов *3* и *4*), ионной пушкой (через блок *7*), а также температурой в камере, измеряемой датчиком *10*.

21.3. Специфические особенности станков

Сверхточные станки отличаются от обычных по компоновке, схеме реализации движений, способу установки станка, конструкции основных узлов и по условиям эксплуатации.

Требования, предъявляемые к окружающей среде. Воздух в помещении должен быть очищен от механических примесей и химически чистым. Влажность должна быть в пределах нормальных условий и не изменяться в процессе обработки заготовки. Давление также должно быть стабильным. Помещение должно защищать метрологическую систему, расположенную на станке, от γ-излучения. Источники света должны устанавливаться с учетом недопустимости влияния на точность обработки конвекционных и эффектов прямого излучения. Присутствие оператора в помещении эквивалентно наличию электрического источника мощностью около 250 Вт, поэтому в случае обработки заготовки достаточно большого диаметра оператор должен быть удален из помещения. Особые требования предъявляются к термостабилизации и виброизоляции.

Вопросы термостабилизации. При эксплуатации станков необходимо выполнять весьма жесткие требования к температуре окружающей среды. Обработку ведут в термостабилизированных помещениях, первое отделение которых имеет колебания температуры не более ±0,5 °С (до ±0,1 °С), а второе — до ±0,01 °С. В наиболее ответственных случаях для защиты от внешних воздействий станок помещают в термоконтейнер. В нем предусмотрен масляный душ с регулированием температуры до ±0,01 °С. Используют также ряд конструктивных мер, позволяющих уменьшить влияние внутренних источников тепла на точность станка, перечисленных ниже.

1. Как правило, применяют принудительное охлаждение (воздушное или жидкостное) деталей и систем станка. Для этого предусматривают соответствующие каналы и проходы для циркуляции охладителя, что существенно усложняет конструкцию станков. При размерах заготовок в пределах 200…1500 мм расход воздуха 3…10 $м^3/с$ (или жидкости 1…10 л/с). Это позволяет удержать среднее колебание температуры деталей при воздушном охлаждении в пределах ±0,05 °С (при жидкостном — около ±0,02 °С).

2. Для изготовления важнейших деталей станков используют специфические материалы с крайне низкими значениями коэффициента линейного расширения α и теплопроводности λ. К таким материалам относятся: природный гранит [$\alpha \approx 7 \cdot 10^{-6}$ мкм/(м·°С); $\lambda = 3…3{,}5$ Вт/(м·°С); тогда как у чугуна $\alpha \approx (9…12) \cdot 10^{-6}$ мкм/(м·°С), $\lambda = 50…75$ Вт/(м·°С)], из которого изготавливают станины, плиты, основания и т.п.; керамика, например, нитрид кремния [$\alpha \approx 3 \cdot 10^{-6}$ мкм/(м·°С); $\lambda = 7{,}3$ Вт/(м·°С)] — столы, салазки, суппорты и др.; стеклокерамические материалы [$\alpha \approx (2…3) \cdot 10^{-8}$ мкм/(м·°С)] — шпиндели; синтеграл $\alpha \approx 16 \cdot 10^{-6}$ мкм/(м·°С), $\lambda = 1{,}6…1{,}75$ Вт/(м·°С)] — станины, стойки, основания, плиты; сплавы железа с никелем — инвары и суперинвары [$\alpha \approx (1{,}5…4) \cdot 10^{-6}$ и $(0{,}5…1{,}5) \cdot 10^{-6}$ мкм/(м·°С) соответственно; $\lambda = 12…14$ Вт/(м·°С) в обоих случаях] — отливки сложной формы.

Можно считать, что тепловые деформации корпусных деталей $\delta_t \approx K\alpha\sigma/\lambda$, где σ — предел прочности материала детали; K — коэффициент пропорциональ-

ности. Этой формулой удобно пользоваться при выборе материала. Например, рассчитанное по ней значение δ_t для углеродной керамики, изготовляемой из нефтяного кокса и каменноугольного песка, почти на порядок меньше, чем у чугуна. Следует иметь в виду, что остаточные напряжения, возникающие при механической и термической обработке, зависят от свойств материала. Эти напряжения тем ниже, чем меньше коэффициент линейного расширения α и модуль упругости материала. Переход к медленно охлаждающей закалочной среде существенно снижает внутренние напряжения (в 4…6 раз при замене воды маслом). С повышением прочностных свойств материала (например, при использовании высоколегированных материалов) влияние остаточных напряжений на точность уменьшается; уровень остаточных напряжений не должен превышать 10% предела текучести.

Выбор материала деталей предполагает обеспечение технологичности, под которой подразумевается обрабатываемость, малая деформируемость, структурная однородность, равномерная твердость. Технологичность предполагает тщательный выбор способа старения корпусных деталей: по меньшей мере 2-кратное старение; естественное старение наиболее ответственных деталей; обязательное старение после черновой механической обработки (с максимальным съемом припуска).

3. Применение тепловых труб и других компенсаторов, которые выравнивают температуру по сечению и длине деталей станка. Тепловая труба (рис. 21.6, *а*) представляет собой замкнутый герметический сосуд *1*, боковая поверхность которого выложена капиллярно-пористым веществом *2* (ткань, войлок, строительные материалы и др.), пропитанным рабочей жидкостью с температурой кипения, близкой к комнатной (аммиак, спирт, ацетон, метанол, фреон-22). Воздух из трубы удален и объем ее заполнен парами рабочей жидкости. Если к одному концу трубы подвести источник теплоты q, то жидкость внутри начинает кипеть и испаряться (часть теплоты уходит на парообразование). Давление пара растет ($p_1 > p_2$), и он устремляется вверх, унося с собой теплоту. У холодной стенки тепловой трубы (наверху) пар конденсируется, выделяя теплоту. Конденсат возвращается назад по капиллярам трубы и вновь испаряется. Таким образом реализуется замкнутый цикл «испарение — перенос тепла — конденсация пара — возврат конденсата». Теплопередача осуществляется благодаря поглощению теплоты при испарении жидкости и выделению ее при конденсации.

Для тепловых труб характерны: высокая теплопроводность, в сотни раз превышающая теплопроводность лучших металлов; малый температурный перепад по длине (выравнивание температуры) и высокая равномерность температурного поля; высокий КПД (до 90%); работа без дополнительных внешних затрат энергии. Устанавливая тепловые трубы *1* (рис. 21.6, *б*) в теплонапряженных зонах, например, в месте расположения привода *2*, можно уменьшить тепловые деформации узлов.

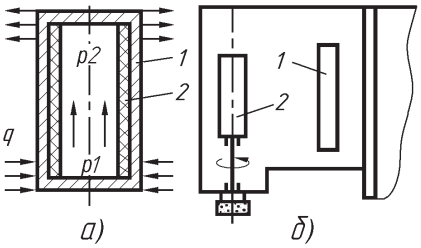


Рис. 21.6. Схема тепловой трубы (*а*) и пример ее установки (*б*)

4. Применение устройств адаптации для

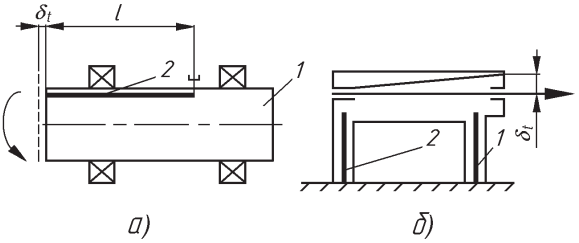


Рис. 21.7. Схема измерения осевой деформации (*а*) и радиальной деформации шпиндельной бабки (*б*)

измерения деформаций наиболее важных деталей и их компенсации, например, с использованием системы ЧПУ. На рис. 21.7, *а* показана схема измерения осевой тепловой деформации δ_t шпинделя *1* с использованием электрического проводника *2* длиной *l*, сопротивлением $R_э$. При изменении температуры шпинделя на величину Δt изменяются его длина и сопротивление проводника на величины соответственно $\delta_t = \alpha l \Delta t$ и $\Delta R = \alpha_э R_э \Delta t$, где α и $\alpha_э$ — температурные коэффициенты линейного расширения материалов шпинделя и электрическая постоянная проводника соответственно. Отсюда $\delta_t = \Delta R \alpha l / (\alpha_э R_э)$. Таким образом, измерив электрическое сопротивление проводника, по его изменению можно оценить тепловую деформацию шпинделя и компенсировать ее. Аналогичен способ компенсации тепловой деформации δ_t корпуса шпиндельной бабки (рис. 21.7, *б*); при этом с помощью проводников *1* и *2* измеряют среднюю температуру передней и задней стенок корпуса.

Другой важной особенностью сверхточных станков является *виброизоляция*, которая реализуется различными способами.

1. *Снижение производственного шума.* Станок должен быть помещен в камеру с акустической защитой для предотвращения влияния шумовых эффектов на шероховатость обработки, возникающих, например, от утечки воздуха из пневматических аппаратов, обслуживающих станок, или от деятельности оператора. В термоизолирующий контейнер, куда устанавливают станок, встраивают специальные панели из демпфирующего и звукопоглощающего материала (например, стекловолокна).

2. *Изоляция станка от внешних колебаний и отстраивание частот внешних возмущений от собственных доминирующих частот станка.* Для этого станок устанавливают на бетонный блок, масса которого в 5…10 раз больше массы станка, а сам блок располагают на пневмоопорах, пружинах или других эффективных виброизоляторах, обеспечивая таким образом низкие (3…5 Гц) собственные частоты системы станок — бетонный блок.

3. Применение приводов (в первую очередь главного) с *низким уровнем вибраций* (уровень шума порядка 30…35 дБ).

4. *Изготовление деталей станков из материалов с высоким внутренним демпфированием* (природного гранита, синтеграна, керамики), что обеспечивает быстрое затухание возникающих колебаний. Если декремент затухания у чугуна равен 0,006…0,008, то у гранита он составляет 0,02… 0,04, а у синтеграна 0,06…0,08.

5. *Применение встроенных демпферов* (инерционных, фрикционных) *для снижения амплитуды колебаний на резонансной частоте*. Такой метод наиболее эффективен при наличии доминирующих частот колебаний.

6. *Широкое использование бесконтактных механизмов* (аэро- и гидростатических). Это обусловлено, в первую очередь, требованиями к точности, но дополнительно достигается повышение виброустойчивости, особенно подвижных узлов. В последнем случае эффект повышения виброустойчивости обусловлен двумя факторами. С одной стороны, при осуществлении малых перемещений (десятые и сотые доли микрометра) развиваются автоколебания, связанные с трением. В бесконтактных опорах (аэро-, гидростатических) сила трения пропорциональна скорости и при малых значениях последней приближается к нулю, что обеспечивает наилучшие условия для микроперемещений. В то же время в опорах качения при уменьшении скорости коэффициент трения (а следовательно, и сила трения) остается примерно постоянным, а в опорах скольжения он даже возрастает.

С другой стороны, благодаря большому внутреннему демпфированию бесконтактных опор подвижных узлов поглощается энергия колебаний. Например, если два диска диаметром D, между которыми находится слой смазочного масла толщиной h_0 с вязкостью μ, сближаются со скоростью v, то усилие, препятствующее сближению (т. е. демпфирующее), $F_д = \mu D^4 v / h_0^3$, откуда следует, что по мере сближения дисков сила $F_д$ резко возрастает.

7. *Балансировка* (в том числе автоматическая) *вращающихся деталей*. Дисбаланс, обусловленный несовпадением центра тяжести с осью вращения, генерирует вынужденные колебания. Обычно дисбаланс контролируют датчиками колебаний, установленными в зоне опор, и устраняют, снимая часть материала детали, например, с помощью лазера. В этом случае остаточный дисбаланс составляет 0,5…1 г·мм. Особенно важно уменьшить дисбаланс шпиндельного узла, поскольку невозможно осуществить компенсацию высокочастотной составляющей смещения от вращения даже при наличии обратной связи.

8. *Использование активных управляемых* (пневматических, электромеханических и электромагнитных) *систем виброизоляции*. Такие системы особенно эффективны при широком частотном спектре колебаний, хотя они достаточно сложны: в них входят чувствительный элемент, управляющие, усилительные и исполнительные устройства. Специфика конструирования сверхточного оборудования обусловлена монотонностью процесса обработки в длительном временно́м интервале, причем высокая точность обрабатываемой поверхности, по параметрам относительного расположения поверхностей, формы и параметрам шероховатости, предъявляет комплекс требований к станку: по точности относительного расположения инструмента и заготовки, по допустимому уровню относительных колебаний инструмента и заготовки.

Перечисленный комплекс требований определяет **общие принципы** конструирования сверхточных станков, изложенные ниже.

1. *Независимость метрологической системы, контролирующей относительное расположение инструмента и заготовки, от внешних и внутренних возмущений.* В отдельных случаях это достигается разделением станка на несущую и метрологическую части; при этом точность в значительной степени определяется

эффективностью измерительных систем. В качестве примера рассмотрим схему станка токарного типа (рис. 21.8) для обработки заготовок зеркал диаметром около 1500 мм, созданного в Ливерморской лаборатории им. Лоуренса (США). Обработка осуществляется монокристаллическим алмазным инструментом *3*, установленным в ползуне *5*, который перемещается на оси *Z* в гидростатических направляющих. Для движения ползуна (ход до 500 мм) используется фрикционный привод в сочетании с пьезоприводом, что обеспечивает дискретность перемещения 2,5 нм и точность позиционирования (среднеквадратичную) 28 нм. Заготовка *2* закреплена на шпинделе (планшайбе) *1* с помощью твердеющей резины. Вращение от двигателя постоянного тока *10* передается на шпиндель, установленный на аэростатических опорах, через торсион, что способствует снижению уровня колебаний, передаваемых от двигателя. Портал *4* вместе с ползуном перемещается по гидростатическим направляющим по оси *X* (ход — 900 мм). Основание *6* расположено на четырех пневмоопорах *7*. Станок установлен на массивном бетонном фундаменте, который, в свою очередь, опирается на пружины (на рис. 21.8 не показаны).

Положение основных узлов и инструмента контролируется с помощью лазерных интерферометров, расположенных на отдельно установленной (также на пневмоопорах) метрологической раме *8*. Рама связана с несущей системой станка тремя шарнирными опорами, что позволяет сохранять постоянный размер и форму рамы при деформации несущей системы станка до 6,35 мкм. Луч лазера проходит через сильфоны *9*, в которых обеспечиваются требуемые для функционирования лазерных интерферометров параметры среды (температура, влажность, давление). Контроль за работой станка осуществляется через оптическую систему, поскольку присутствие оператора в зоне обработки нарушает жесткий температурный режим. Погрешность формы зеркала на диаметре 1500 мм не превышает 13 нм; шероховатость $Ra = 4{,}2$ нм.

2. При применении приводов подачи, обеспечивающих дискретность перемещения 0,1 мкм и более, используются *фотоэлектрические линейные преобразователи, снабженные стеклянными шкалами*. Они достаточно надежные и могут устанавливаться близко к зоне резания. В качестве измерительных

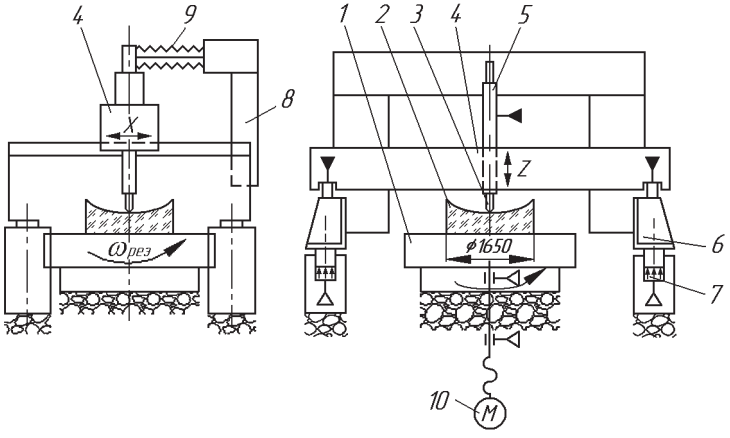


Рис. 21.8. Схема станка с метрологической рамой

устройств чаще всего используют лазерные интерферометры, которые надежно функционируют при скорости перемещений узлов до 100 м/мин и дискретности до 2,5 нм. Газовые лазеры обеспечивают точность измерений около 1 нм, а полупроводниковые — 5 нм. Ошибки измерения лазерным интерферометром в значительной мере обусловлены влиянием окружающей среды. Базой для измерения пути служит длина световой волны, зависящая от коэффициента преломления среды, который, в свою очередь, зависит от атмосферного давления, влажности, температуры и химического состава воздуха, поэтому параметры среды следует выдерживать в узких пределах. Например, для измерения пути с погрешностью, не превышающей 10 нм, требуются следующие параметры среды: температура воздуха $20 \pm 0{,}1\ ^{\circ}C$; атмосферное давление 1000 ГПа ± 0,1%; относительная влажность (влияющая на длину волны светового луча) 40 ± 10%; уровень шума 45 ± 8 дБ.

На указанном выше станке световой луч помещен в телескопическую трубу, выполненную из сильфона, заполненного гелием. Все помещение, где расположен станок, защищено от проникновения в него γ-излучения, также влияющего на длину световой волны.

3. *Ограничение функций, выполняемых отдельными узлами и станком в целом:* на станке в большинстве случаев реализуется один метод обработки, каждый узел осуществляет только одно определенное перемещение и т. п. В таком случае конструкция упрощается, ее легче оптимизировать по критериям точности, не прибегая к компромиссным решениям (отметим, что в менее точных станках тенденция прямо противоположная, что связано с совмещением функций узлов и расширением технологических возможностей).

4. *Использование принципа Аббе* не только при установке измерительных устройств, но в более широком понимании. Принцип Аббе предполагает приближение оси измерения к вершине инструмента с тем, чтобы исключить возможность увеличения погрешности по принципу рычага (если принцип Аббе не соблюдается). Например, расположение направляющих и измерительных устройств на одном уровне уменьшает вероятность возникновения моментов от нагрузки и т.п. Так, если ось *1* шпинделя (рис. 21.9) совпадает с плоскостью расположения гидростатических направляющих *2*, уменьшается момент, воспринимаемый направляющими, а следовательно, и деформации. С этих позиций следует избегать применения в несущей системе станка консолей, элементов с непостоянной жесткостью и т. п.

5. *Применение кинематических звеньев* (направляющих, подшипников, передач) со следующими свойствами: минимальным трением при скорости, близкой к нулю; обеспечением усреднения погрешностей изготовления вследствие разделения трущихся поверхностей текучей средой (маслом, воздухом); высокими жесткостью и демпфированием как в нормальном, так и тангенциальном направлении к поверхности. Очень важным является обеспечение высокого редуцирования погрешностей при использовании бесконтактных

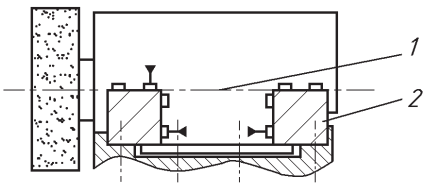


Рис. 21.9. Схема расположения направляющих, уменьшающая деформацию, вызванную силой резания

механизмов. Редуцирующий эффект (т.е. уменьшение влияния погрешностей изготовления на траекторию перемещения) зависит как от величины погрешностей сопряженных поверхностей, так и от сочетания их частот (т.е. числа волн погрешности на единицу длины). При равенстве частот редуцирующий эффект минимален. Если в случае гидростатической смазки величина погрешностей деталей достигает половины толщины масляного слоя, то при одинаковых частотах погрешностей редуцирование примерно 8-кратное, а при частотах, различающихся в 1,5 раза, 100-кратное.

6. Для достижения требуемой точности в сверхточных станках чаще, чем в обычных, *используются системы коррекции и адаптации* (см., например, рис. 21.7). Это связано с тем, что весьма трудно обеспечить требуемую точность изготовления деталей и исключить в полной мере отрицательное влияние тепловых факторов и колебаний.

7. *Уровень автоматизации должен соответствовать требованиям точности деталей.* При этом должны предотвращаться возмущения от участия оператора в процессах установки, обработки, снятия и контроля точности детали. При применении загрузочно-разгрузочных устройств должны быть обеспечены бездеформационная установка и снятие заготовки без ее дополнительного нагрева (например, от рук оператора) и порчи как базовой, так и обработанной поверхности.

8. *Применение материалов базовых деталей станка, обеспечивающих высокую жесткость, максимальное отношение модуля упругости к плотности, высокую стабильность во времени, низкий температурный коэффициент расширения.* Станины, основания станков, как правило, выполняют из неметаллических материалов, например гранита или керамики. Из керамики часто выполняют такие ответственные детали, как шпиндельные бабки, суппорты.

9. *Компоновка станков выбирается исходя из обеспечения точности*, при этом учитываются масса, жесткость и размеры обрабатываемых деталей, способы их закрепления. При выборе компоновок принимают во внимание:

- обеспечение минимальных деформаций от перемещения подвижных узлов (минимальная масса и максимальная собственная жесткость базовых подвижных узлов);
- снижение влияния температуры на деформацию базовых деталей, например, используя симметричные конструкции;
- установку источников мощности с учетом их тепловыделений и возможной передачей возмущений (вибраций) как через место их крепления, так и через цепь соединения с рабочим органом станка.

21.4. Особенности конструкций важнейших узлов

Шпиндельные узлы (ШУ). Осевое и радиальное биение шпинделей достигает 10 нм (0,01 мкм), поэтому часто используют аэро- и гидростатические опоры с самоустановкой шпинделя и втулок, что повышает точность в 5 раз. На рис. 21.10 показана схема ШУ с самоустанавливающимися сферическими гидростатическими опорами. Между втулками *1* и *3*, посаженными на шпиндель *7* с небольшим зазором, расположена тонкостенная втулка — оболочка *2* с низкой осевой

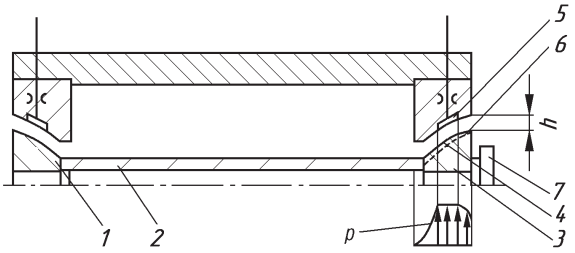


Рис. 21.10. Схема шпиндельного узла с самоустанавливающимися опорами

жесткостью. В случае неравномерного зазора h в опорах при подаче масла в карманы *5* оболочка *2* деформируется и опоры самоустанавливаются. Это объясняется тем, что если на перемычках *4* и *6* зазор разный, то и закон распределения давления p различается (см. эпюру). Следствием являются соответствующая деформация втулки *2* и самоустановка опоры. Для более эффективной самоустановки втулки в ней располагают два ряда карманов (по длине втулки), в каждый из которых подается масло через свой дроссель. Средняя жесткость аэростатических опор составляет 200…400 Н/мкм при рабочем давлении 0,3…0,6 МПа; редуцирующий эффект обеспечивает уменьшение погрешностей в 10…20 раз. Жесткость гидростатических опор составляет 600…1000 Н/мкм. Для того чтобы биение шпинделя не превышало 50 нм, колебания давления не должны быть более 0,01 МПа, а колебания температуры масла — более 0,05 °С. Для ШУ используют преимущественно встроенные двигатели (мотор-шпиндели) с контролем температуры и низким уровнем шума. Используют также соединение двигателя со шпинделем через торсион или различные муфты (электромагнитные, мембранные и др.). В качестве материала шпинделя применяют сталь, стекло- и углепластик, а также керамику.

На рис. 21.11 приведен пример шпиндельного узла фирмы «Тосиба Кикай» (Япония) с аэростатическими сферическими опорами в передней опоре, обеспечивающего точность вращения не ниже 0,025 мкм. Крутящий момент на шпин-

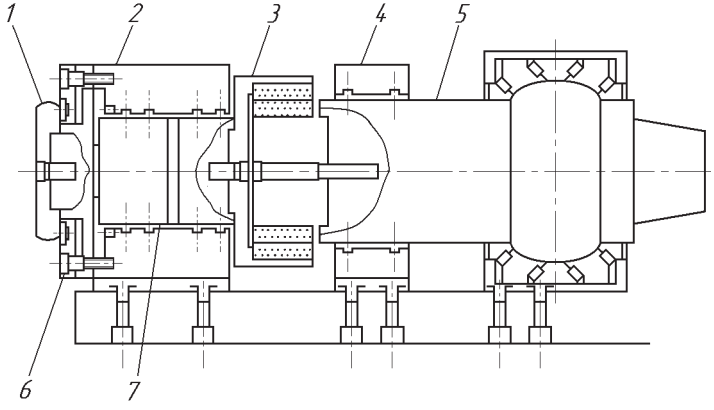


Рис. 21.11. Шпиндельный узел станка с аэростатическими подшипниками:
1 — шкив; *2* — опоры шкива; *3* — магнитная муфта; *4* — радиальный подшипник; *5* — шпиндель; *6* — осевые опоры шкива; *7* — приводной вал

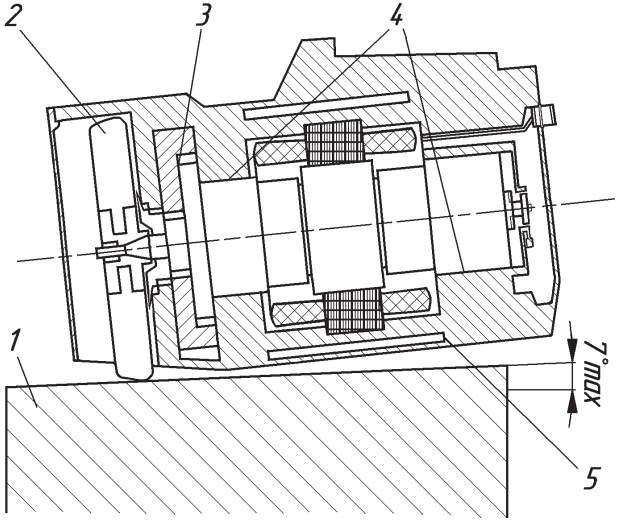


Рис. 21.12. Электрошпиндель шлифовального станка:
1 — заготовка; *2* — шлифовальный круг; *3* — аэростатический осевой подшипник; *4* — радиальные аэростатические опоры; *5* — полость для водяного охлаждения

дель передается посредством электромагнитной муфты в целях снижения вибраций, передаваемых от двигателя. Используется бесколлекторный двигатель постоянного тока.

На рис. 21.12 показана конструкция шпиндельного узла (электрошпиндель) шлифовального станка фирмы «Кренсфильд» (Великобритания), предназначенного для обработки зеркал и оптических элементов из стекла размером до 2,5 м.

Приводы подач. Наиболее важными требованиями к приводам подач являются: точность реверсирования (в противном случае затруднена динамическая компенсация погрешностей); реализация минимального (до 5 нм) импульсного перемещения; высокая (до 2 нм) точность позиционирования при использовании систем коррекции; снижение возмущающих воздействий от привода, включающего источник энергии, до допустимой величины. В сверхточных станках применяются в основном следующие типы приводов:

- электромеханический с шариковинтовой, винтовой с магнитной или гидростатической гайкой, а также фрикционными передачами;
- электрогидравлический с линейным исполнительным двигателем (гидроцилиндром);
- пьезоэлектрический корректирующий привод в сочетании как с приводом на большие хода, так и с приводами микроперемещений.

Перечислим основные типы тяговых устройств. *Шариковая винтовая передача* (ШВП) характеризуется наибольшей среди других передач жесткостью, дискретность перемещений до 100 нм. Погрешности изготовления винта и гайки передаются на перемещаемый узел. Кроме того, из-за деформирования шариков при заходе в винтовую канавку и в каналы возврата происходит пульсация перемещения. Гидростатическая винтовая передача (применяется, например,

в станке фирмы «Окума») имеет разрешающую способность около 100 нм и осевую жесткость 100…1000 Н/мкм.

Фрикционный привод (рис. 21.13, *а*) при вращении роликов *1* и *2* и контактном взаимодействии их со стержнем *3*, имеющим высокую твердость рабочих поверхностей, осуществляет перемещение исполнительного органа *4*. Дискретность перемещений до 30 нм; жесткость привода 50…100 Н/мкм; тяговое усилие до 100 Н. Основные недостатки — низкие долговечность и грузоподъемность и сравнительно большая зона нечувствительности.

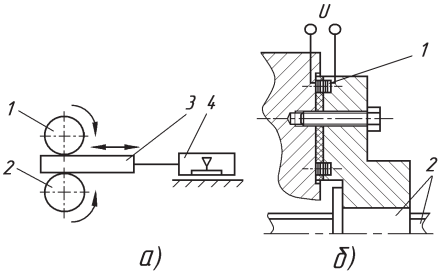


Рис. 21.13. Схемы приводов подач:
а — фрикционного; *б* — пьезопривода

Пьезопривод (рис. 21.13, *б*) основан на свойстве пьезокерамики изменять размеры при изменении подводимого напряжения *U*; дискретность перемещений — менее 5 нм. Основной недостаток привода — малая величина перемещения (0,1…0,2 мм); поэтому такой привод *1* во многих случаях сочетается с другими тяговыми устройствами, например ШВП *2*. Часто пьезопривод используется для коррекции и формирования сложных поверхностей.

Электрогидравлический привод. На рис. 21.14 приведена схема электрогидравлического привода с гидроцилиндром. В нем перемещение определяется дозированным объемом жидкости, поступающей в привод. Гидросуппорт содержит круглый шток *5*, выполненный за одно целое с поршнем *6*, установленным в корпусе *7* на гидростатических опорах. От проворота шток удерживается за счет эксцентричного расположения *e* поршня. Положение поршня контролируется лазерным интерферометром *4*, на который подается луч от источника *3*. На штоке закреплен резцедержатель *8* с инструментом *9*. Для перемещения штока подвод рабочей жидкости осуществляется в полости *10* и *11* от электрогидравлического преобразователя *12* с шаговым двигателем-задатчиком *14*, который управляется

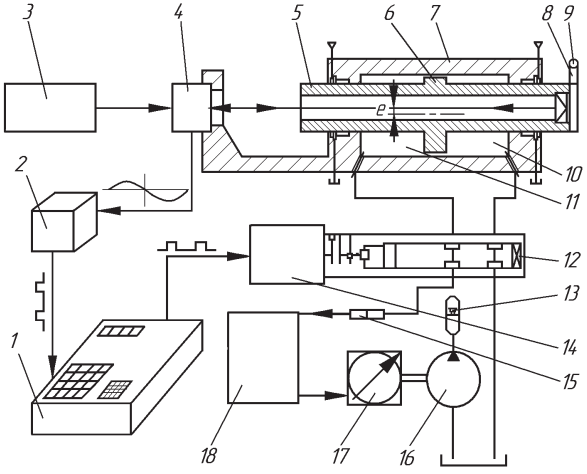


Рис. 21.14. Электрогидравлический привод суппорта токарного станка для алмазной обработки зеркала

УЧПУ *1*. Сигнал обратной связи на УЧПУ подается от лазерного интерферометра через нормирующий преобразователь *2*. Гидравлическое питание осуществляется от насоса *16*, приводимого в действие двигателем *17* постоянного тока, управляемого электроприводом *18*. Датчик давления *15* поддерживает его постоянное значение за счет подачи электрического сигнала на электропривод постоянного тока, изменяя частоту вращения насоса и соответственно расход жидкости. Для снижения колебания давления установлен аккумулятор *13*. Отражатель светового луча (контроль положения резца) расположен в непосредственной близости к инструменту, что повышает точность. Разность температур рабочей жидкости и окружающей среды не превышает 0,2 °С, при этом дискретность перемещений составляет 80 нм. Повторяемость перемещений ~ 20 нм. При давлении жидкости 3 МПа жесткость привода достигает 600 Н/мкм.

Направляющие. В сверхточных станках используют все известные типы направляющих, включая даже направляющие скольжения (с покрытием), однако наиболее распространены гидростатические и, особенно, аэростатические направляющие.

Гидростатические направляющие имеют жесткость 6…8 кН/мкм и обеспечивают точность перемещения 20…40 нм на 400 мм хода. Основной их недостаток — сложные системы подготовки масла. ***Аэростатические направляющие*** имеют жесткость 1…2 кН/мкм и при толщине воздушного слоя 4…8 мкм обеспечивают такую же точность перемещения, как и гидростатические.

21.5. Методы испытаний сверхточных станков

Проверка *точности контурной обработки* (на двухкоординатных станках) может проводиться путем обработки круглой детали и сравнения ее формы с заданной. Однако более распространен метод ощупывания круглого эталона, при этом отклонение фактической траектории от формы эталона отображается на дисплее.

Проверка *точности позиционирования* узлов осуществляется методом отслеживания синусоиды с малой амплитудой. Программируется перемещение узла по синусоидальному закону. Выбор амплитуды и длины волны синусоиды зависит от дискретности перемещений и типовой скорости обработки.

Испытания приводов подач включают в себя четыре этапа: 1) испытание при постоянной скорости служит для проверки равномерности перемещения узла; погрешность вычисляют по разности заданной и фактической координат положения узла; 2) при испытании реверсом узел отрабатывает синусоидальный закон движения; особый интерес представляют ошибки в точках реверсирования, где скорость меняет знак; 3) при испытании шагами (узел перемещается по 3 раза вперед и назад) определяют минимальное перемещение, которое может быть осуществлено приводом. По результатам испытания на погрешность позиционирования (в том числе при большой скорости перемещения) определяют систематические ошибки, среднюю полосу пропускания привода и гистерезис положения узла при изменении направления движения.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ

Станки для высокоскоростного резания

22.1. Общие сведения

При обработке материалов скорость резания является важнейшим параметром, оказывающим многообразное влияние на все физико-химические процессы и формообразование при резании. Тенденции к увеличению скорости резания обусловлены, в первую очередь, стремлением повышения производительности обработки. Высокоскоростное резание эффективно при обработке заготовок, для которых преобладают чистовые операции с малыми сечениями стружки и усилиями резания 100…200 Н. При высокоскоростном резании часто повышается гибкость процесса (например, при работе сферическими концевыми фрезами обеспечивается возможность обработки сложных поверхностей различной конфигурации).

Области использования. Известно более 200 материалов, при обработке которых используется высокоскоростное резание. Наиболее распространенными операциями являются фрезерование, сверление, точение:

• обработка деталей пресс-форм и штампов концевыми фрезами; диаметр твердосплавных фрез 2,5…40 мм;

• обработка изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов в аэрокосмической и автомобильной промышленности; применяются торцовые фрезы диаметром от 63 до 200 мм и фрезы с криволинейными поверхностями;

• сверление, в том числе фольгированных печатных плат; диаметры сверл до 25 мм, а при глубоком сверлении 45…150 мм;

• точение материалов в авиакосмической, автомобильной (тормозные диски), прокатной промышленности (валки из отбеленного чугуна). Совершенствуется чистовое точение твердых материалов как финишная операция (взамен шлифования).

Также развиваются операции шлифования и нарезания резьбы.

Инструментальные материалы. Наиболее важными характеристиками инструментального материала при высокоскоростном резании являются твердость, теплостойкость и износостойкость. Преимущественное применение нашли твердые сплавы, в том числе с покрытием, режущая керамика, кубический нитрид бора и алмаз. Здесь решающими являются следующие факторы:

• отношение минимальной твердости инструментального материала к максимальной твердости обрабатываемого материала не должно быть меньше 1,4 — в противном случае происходит пластическое разрушение инструмента;

• температура плавления обрабатываемого материала не должна превышать температуры теплостойкости инструментального материала (например, при обработке алюминиевых сплавов, температура плавления которых около 530 °С, возможна обработка твердосплавным инструментом).

22.2. Особенности процесса высокоскоростной обработки

Уже в 20-х гг. XX в. было установлено, что для соответствующей пары материалов инструмента и заготовки существует критический диапазон скоростей резания, когда из-за быстрого износа инструмента (рис. 22.1, зона *II*) работать невозможно. Причиной этого является ухудшение условий износостойкости инструмента из-за роста температуры до $t_{кр}$ (красностойкость). При росте скорости резания энергия, затрачиваемая на разрушение материала, достигает высокой плотности, а генерируемая тепловая энергия способствует разупрочнению и последующему разрушению срезаемого слоя при меньших энергозатратах. При высокоростной обработке снижаются трение и длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента, что, при одновременном снижении времени их контактирования, приводит к перераспределению тепла и снижению нагревания инструмента и заготовки при существенно большем отводе тепла стружкой. Такая трансформация физических процессов ведет к сильным изменениям параметров резания, в частности:

• уменьшается относительная работа пластической деформации (рис. 22.1, кривая *2*) и происходит переход в зону хрупкого разрушения материала. Энергия, расходуемая на хрупкое разрушение, существенно меньше, поэтому снижаются усилия резания и сила трения;

• уменьшается время контактирования стружки с передней и задней поверхностями инструмента, снижается сила трения, уменьшаются усадка стружки и степень деформирования в зоне сдвига, улучшаются демпфирующие свойства процесса резания;

• из-за роста контактной температуры повышается интенсивность износа инструмента.

В обобщенном виде явления в зоне резания приведены на рис. 22.2, а изменение показателей качества процесса обработки от скорости — на рис. 22.3.

Технологические аспекты высокоскоростного резания. С позиции технологии обработки под высокоскоростным резанием понимают сочетание технологических свойств, с помощью которых увеличение скорости резания приводит к повышению экономически целесообразной производительности обработки при заданных параметрах качества. Для разных групп обрабатываемых мате-

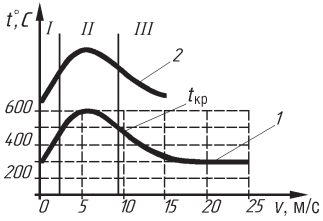


Рис. 22.1. Зависимость температуры от скорости резания (кривая *1*) при обработке алюминия и работа разрушения при резании на разных скоростях (кривая *2*); зоны возможной (*I, III*) и невозможной (*II*) обработки

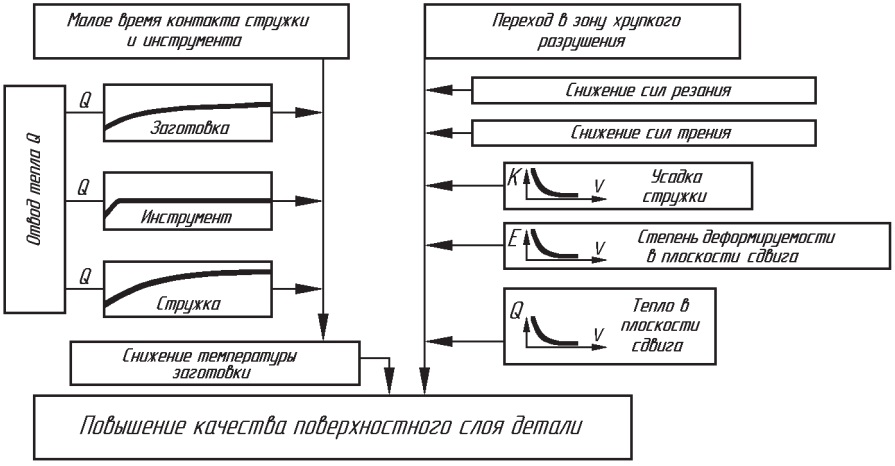


Рис. 22.2. Явления в зоне резания при высокоскоростном резании

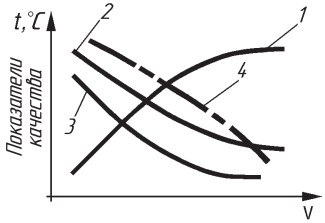


Рис. 22.3. Изменение показателей качества процесса в зависимости от скорости резания при высокоскоростной обработке:
1 — производительность; *2* — сила резания; *3* — шероховатость поверхности; *4* — стойкость инструмента

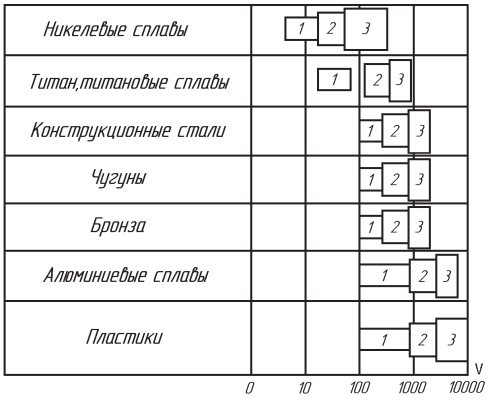


Рис. 22.4. Скорости резания различных материалов, м/мин:
1 — обычное резание; *2* — переходная зона; *3* — скоростное резание; *никелевые сплавы: 1* — 5…15; *2* — 15…30; *3* — 50…300; *титан, титановые сплавы: 1* — 30…80; *2* — 100…120; 3 — 200…500; *конструкционные стали: 1* — 100…250; *2* — 300…500; *3* — 750…2000; *чугуны: 1* — 100…250; *2* — 300…500; *3* — 700…3000; *бронза: 1* — 150…300; *2* — 500…700; *3* — 700…2500; *алюминиевые сплавы: 1* — 100…500; *2* — 500…2500; *3* — 2500…7500; *пластики: 1* — 100…450; *2* — 500…1200; *3* — 1200…10 000

риалов понятия скоростного резания существенно различаются (рис. 22.4). Некоторые режимы резания при обработке чугуна концевыми фрезами приведены ниже.

Диаметр фрезы $D_{фр}$, мм	6	16	60
Число зубьев Z	2	2	6
Скорость резания v, м/мин	1000	1300	1000
Частота вращения фрезы n, мин$^{-1}$	56 000	26 000	5600
Рабочая подача S, м/мин	22	8,5	6,5

22.1. Альтернативные методы обработки

Достигаемый параметр	Электроэрозионная обработка		Высокоскоростное фрезерование	
	Вырезание проволочным электродом	Копировальное прошивание	Трех-координатное	Пяти-координатное
Точность, мкм (погрешность профиля)	4…6	10…20	10…20	15…30
Шероховатость поверхности *Ra*, мкм	0,05	0,2	0,1	0,1
Производительность, $мм^3$/мин	100…180	до 900	150…3500	150…3500
Твердость обрабатываемого материала (сталь), не более	Не ограничена		56 HRC	

Таким образом, технологическое определение «высокоскоростное резание» есть условное понятие, отражающее жесткую связь значений скоростного диапазона со свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, технологической средой и видом обработки.

В табл. 22.1 приведены сравнительные данные при изготовлении пресс-форм и штампов альтернативными методами, а именно электроэрозионной обработкой и высокоскоростным фрезерованием.

Повышение эффективности высокоскоростной обработки (ВСО). Эффективность процесса ВСО зависит от траектории движения инструмента и других особенностей процесса обработки. Рациональные требования к резанию перечислены ниже.

- Резание только в одном направлении — попутное фрезерование для черновой и получистовой операций, и встречное — для финишных операций.
- Траектория движения инструмента должна быть максимально гладкой, т.е. необходимо исключать резкое изменение направления движения.
- Траектория движения инструмента должна предотвращать его перегрузку (часто такие перегрузки происходят при резании полным диаметром инструмента).
- Необходимо избегать резких изменений скорости удаления материала.
- Скорости и ускорения в узлах станка должны быть в допустимых пределах.
- Холостые ходы и время прохождения траектории должны быть минимизированы.

В реальных условиях все требования выполнить невозможно, однако наиболее существенные из них целесообразно удовлетворить. Наиболее распространенными методами повышения эффективности ВСО за счет траектории движения являются: трохоидальная обработка, так называемое плунжерное фрезерование, сплайн-интерполяция и др.

Трохоидальная обработка. Основой ВСО являются малые сечения среза, снимаемые с большой скоростью. Для исключения обработки полным диаметром инструмента применяется трохоидальная обработка (когда траектория движения инструмента описывается математической кривой *трохоидой*). В этом

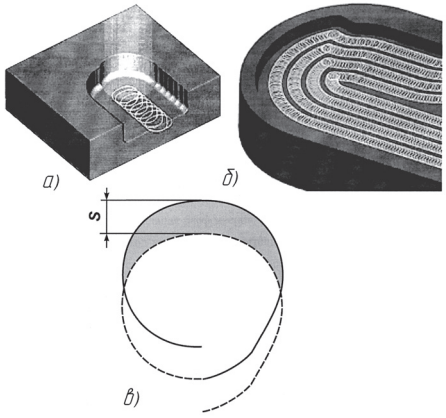


Рис. 22.5. Трохоидальная обработка: *а* — схема обработки; *б* — пример неэффективного использования трохоидальной обработки; *в* — витки трохоиды

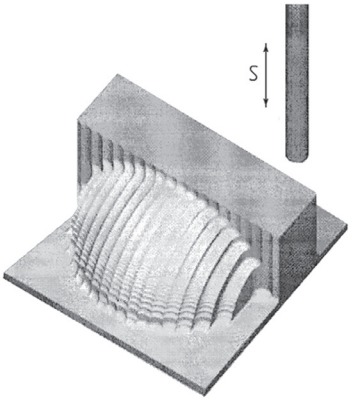


Рис. 22.6. Схема черновой обработки полусферы методом плунжерного фрезерования

случае инструмент движется по растянутой плоскости спирали и исключается резание полным диаметром фрезы (рис. 22.5, *а*). Однако не всегда такой подход обеспечивает высокую эффективность (рис. 22.5, *б*). На схеме рис. 22.5, *в* показаны два витка трохоида от предыдущего (штрихи) и рабочего витка (сплошная линия). На затемненном участке происходит удаление материала за один виток. Длина рабочей части отдельного витка (той части, на которой осуществляется резание) достигает примерно 40% от общей длины, а длина траектории, на которой резание осуществляется с номинальным шагом *S*, не превышает 3%.

Плунжерное фрезерование (рис. 22.6) характеризуется подачей *S* вдоль фрезы. По сравнению со схемой, имеющей спиральную траекторию, обеспечивается более высокая жесткость вдоль оси инструмента, вследствие чего можно увеличить глубину резания и подачу; при обработке в узких каналах это весьма рациональное решение. Недостатками плунжерного фрезерования являются его использование только для черновой операции и необходимость применять специальный инструмент с режущими кромками на торце.

Формирование траекторий движения режущего инструмента при фрезеровании открытых полостей (карманов). В современных САПР-системах наиболее часто применяются методы формирования траекторий режущего инструмента.

Фрезерование «зиг-загом» (рис. 22.7) мало пригодно для ВСО, так как не соблюдаются приведенные выше требования, а именно:

- в каждом цикле меняется направление фрезерования с попутного на встречное;
- траектория изобилует изломами;
- режущий инструмент испытывает значительные перегрузки (рис. 22.7, *в*), так как при смене направления движения в конце каждого прохода происходит врезание полным диаметром инструмента.

Фрезерование «зигом» (рис. 22.8) представляет собой набор рабочих проходов с сохранением рабочей подачи относительно направления вращения ин-

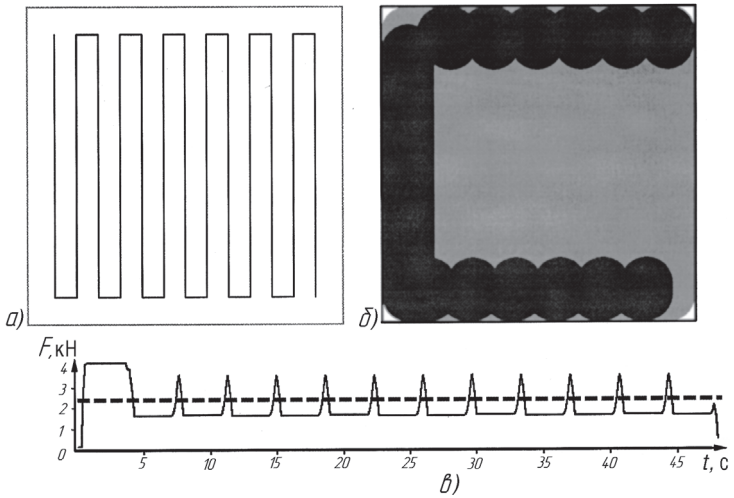


Рис. 22.7. Фрезерование квадратного кармана «зиг-загом»:
а — траектория инструмента; *б* — область обработки, где инструмент испытывает перегрузки (зона перегрузки показана темным цветом); *в* — изменение усилий резания (пунктиром показано максимально допустимое усилие на инструмент)

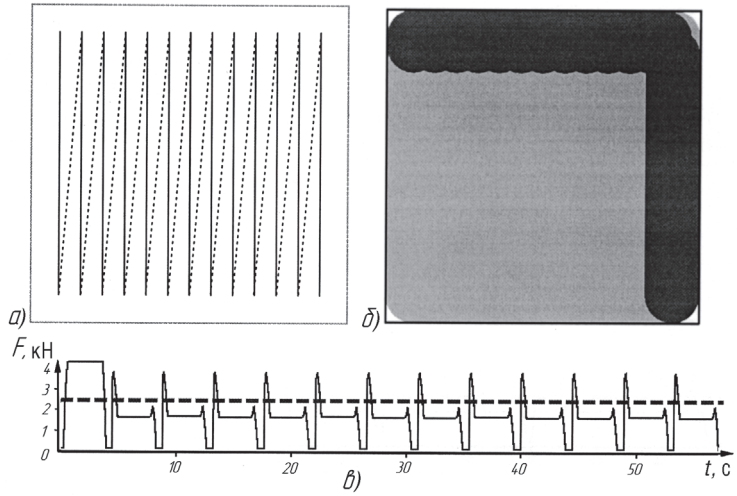


Рис. 22.8. Фрезерование квадратного кармана «зигом»:
а — траектория инструмента (пунктиром показаны нерабочие перемещения); *б* — области обработки, где инструмент испытывает перегрузки (темным цветом); *в* — изменение усилия резания (пунктиром показано допустимое усилие)

струмента (первое требование выполняется); второе требование («гладкость» траектории) не выполняется. Исключение — перегрузки инструмента (третье требование) также не выполняется.

При фрезеровании по эквидистанте (рис. 22.9) выполняется первое требование, во многих случаях второе требование выполняется за счет автоматического сглаживания траектории движения инструмента с помощью сплайнов.

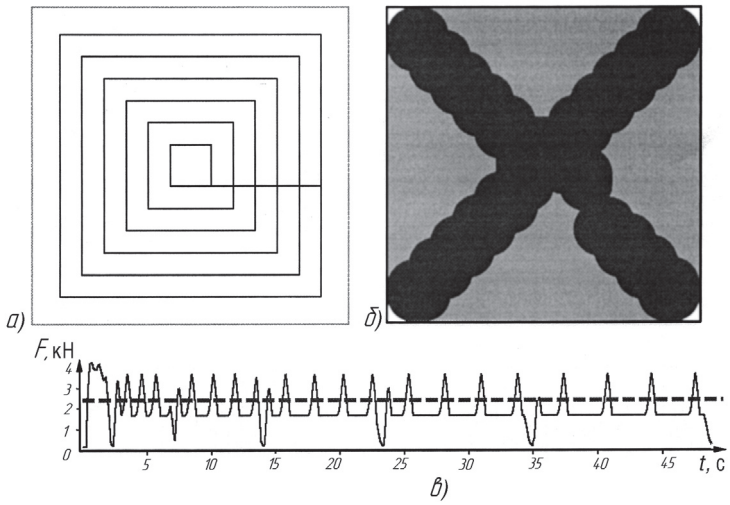


Рис. 22.9. Фрезерование квадратного кармана по эквидистанте вдоль контура: *а* — траектория инструмента; *б* — области обработки (темный цвет), где инструмент испытывает перегрузки; *в* — усилие резания (штриховой линией отмечены допустимые усилия)

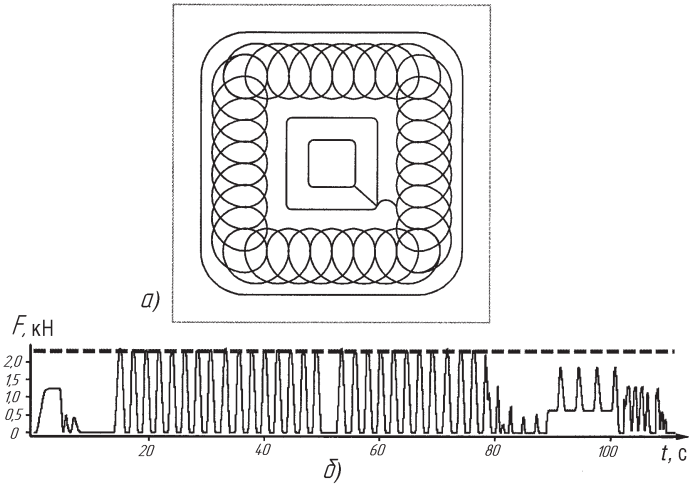


Рис. 22.10. Трохоидальная обработка квадратного кармана с использованием: *а* — траектории инструмента; *б* — усилия резания (штриховой линией показано допустимое усилие)

Однако перегрузка инструмента сохраняется. При трохоидальной обработке (рис. 22.10) инструмент движется по спирали, растянутой в плоскости, всякий раз врезаясь в материал на допустимое расстояние (рис. 22.10, *а*), и исключается резание полным диаметром фрезы. Усилия резания находятся в допустимых пределах. Однако инструмент совершает избыточные перемещения по отводу и подводу инструмента в зону резания на каждом витке трохоида (например, траектория инструмента по сравнению со схемой «зиг-загом» оказывается длиннее в 2,2 раза).

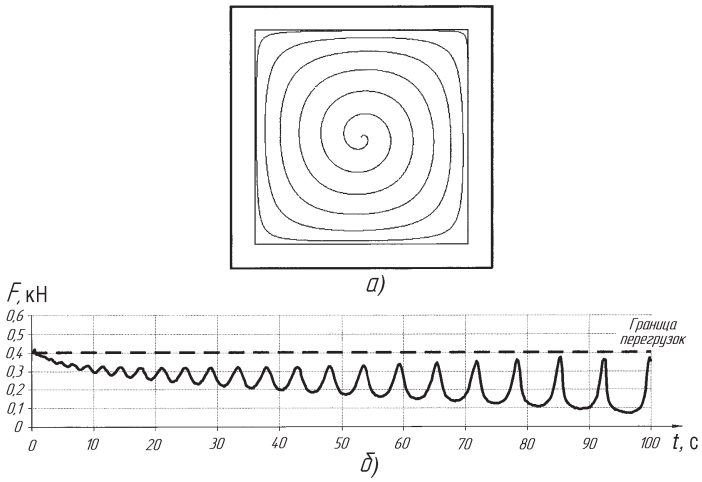


Рис. 22.11. Фрезерование квадратного кармана «по спирали»: *а* — траектория инструмента; *б* — усилие резания

Фрезерование «по спирали» (рис. 22.11) удовлетворяет многим требованиям ВСО, в том числе исключается изменение направления фрезерования (встречное на попутное), обеспечивается плавность движения инструмента («гладкая» траектория) и усилия резания лежат в допустимых пределах.

Особенности высокоскоростного резания. Применение высокоскоростного резания предполагает существенный пересмотр концепции обработки; среди характерных проблем выделим следующие:

- усовершенствование конструкции обрабатываемых заготовок с учетом особенностей высокоскоростного резания. Необходимо сокращать число обрабатываемых поверхностей, что позволяет уменьшить число режущего и вспомогательного инструмента и, как следствие, время смены инструмента;
- оптимизация характеристик материала, геометрических параметров и конструкций режущего инструмента (методы крепления режущих пластин, динамическая сбалансированность всех узлов, инструмента и т. п.);
- оптимизация режимов резания для получения наилучшего соотношения между производительностью и стойкостью инструмента;
- новая концепция и конструкция приспособлений с обеспечением высокой жесткости, допустимого дисбаланса, с компенсацией усилий зажима от действия центробежных сил. Например, в станках токарной группы применяют патроны с автоматическим изменением сил зажима в зависимости от частоты вращения шпинделя;
- разработка принципиально новых систем сухого резания с компенсацией физических функций смазочно-охлаждающих жидкостей.

22.3. Особенности станков для высокоскоростной обработки

В настоящее время центр тяжести проблемы высокоскоростного резания сместился в сторону создания эффективного оборудования для реализации преиму-

ществ такой обработки. К важнейшим узлам и устройствам, обеспечивающим высокоскоростную обработку, относятся: шпиндельный узел, привод подач, системы закрепления и смены инструмента и заготовки, удаления стружки, устройства контроля состояния инструмента и станка. Среди важнейших особенностей станков выделим следующие.

• Разработка узлов и механизмов станка, обеспечивающих высокие скорости рабочих движений. В первую очередь это относится к шпиндельным узлам и приводам подачи. Требуемый параметр быстроходности шпиндельных узлов составляет $nd \approx (2\ldots3) \cdot 10^6$ мм/мин, где d — диаметр передней опоры шпинделя, мм; n — частота вращения, мин$^{-1}$. При диаметре d шпинделя 100 мм $n = 20\,000\ldots30\,000$ мин$^{-1}$. Такой уровень быстроходности в настоящее время наиболее часто реализуется при применении гибридных радиально-упорных шарикоподшипников (со стальными кольцами и керамическими шариками) и новых масловоздушных методов смазывания. При использовании мотор-шпинделей требования к быстроходности шпиндельных узлов реализуются наилучшим образом. Вместе с тем у мотор-шпинделей первая собственная частота шпинделя менее удалена от максимальной частоты вращения, чем у обычных шпинделей, поэтому при разработке необходим анализ амплитудно-частотной характеристики шпинделя. Высокие скорости резания и небольшие глубины резания требуют высокой точности вращения шпинделей. Обеспечение высоких скоростей рабочих (25…50 м/мин) и ускоренных (80…160 м/мин) подач наиболее просто реализуется при использовании линейных приводов, которые все чаще применяются в таких станках.

• Повышение динамических характеристик станков и уменьшение тепловых деформаций приводят к тому, что многие узлы и механизмы могут стать мощными генераторами вибраций и теплового излучения. Так, в шпиндельных узлах 30…40% мощности привода превращается в теплоту. Кроме того, при пуске и остановке механизмы подач могут испытывать значительные ускорения. Массу всех движущихся частей необходимо уменьшить при повышении их жесткости (выполняя их из керамики, углепластика и т.п.). Наоборот, масса неподвижных узлов (станин, оснований) служит демпфером и может быть увеличена (полимербетон, гранит).

• Повышение уровня гарантируемой работоспособности станка, в том числе:

— создание надежных средств контроля состояния режущего инструмента и качества обработки с включением их в систему ЧПУ. Поломка инструмента требует быстрой остановки главного привода, однако время реакции на поломку может достигать несколько миллисекунд. Поэтому часто следят за тенденциями изменений процесса резания посредством контроля за отклонениями от заданных параметров;

— мониторинг шпиндельных узлов, который проводится по семи основным критериям, оцениваемым по различным признакам (табл. 22.1) Наиболее часто осуществляется мониторинг смещений и вибраций шпинделя, а также действующих на него усилий. Для контроля и прогнозирования характера и величины вибрации в процессе обработки созданы специальные программы, учитывающие состояние шпиндельного узла и инструмента, материал заготовки, жесткость ее закрепления, скорость резания, скорость подачи и др.;

22.1. Мониторинг шпиндельных узлов

Параметр	Ток	Уровень вибрации	Смещение шпинделя	Температура	Сила
Вибрация	—	+	+	—	(+)
Дисбаланс	—	+	+	—	(+)
Осевое удлинение шпинделя	—	—	+	+	—
Параметры заготовки	+	—	+	—	+
Столкновения	—	+	+	—	—
Состояние инструмента	+	+	+	—	+
Состояние опор	—	+	+	+	—

Примечание. «+» — мониторинг проводится всегда; «(+)» — проводится в некоторых случаях; « — » — не проводится.

— высокая интенсивность обработки требует длительного сохранения точности основных узлов и постоянного контроля за степенью их износа, в частности направляющих.

• Оснащение станков автоматизированными устройствами для смены инструмента (сокращение вспомогательного времени) и системами для автоматического отвода стружки. В авиационной промышленности, например, существует тенденция использования цельных длинномерных конструкций взамен сборных. Это требует удаления большого объема стружки, который зависит от способа получения заготовки и может значительно превышать массу готовой детали. При высокоскоростной обработке цветных металлов и сплавов удельная производительность съема металла может достигать 90 см^3/мин и более. Для повышения эффективности удаления стружки она смывается остронаправленной струей СОЖ под высоким давлением.

• Повышение требований к технике безопасности, исключение травматизма обслуживающего персонала и повреждения станка летящей стружкой, осколками режущего инструмента и др. Станки, как правило, имеют герметичное кабинетное ограждение, полностью закрывающее зону обработки. Кабины выполняют из металлического листа толщиной 3…5 мм. Весьма актуальны вопросы балансировки вращающихся деталей, в которых смещение центра тяжести допускается в пределах 1…3 мкм.

• Использование другого механизма зажима вращающегося инструмента. Широко используемый механизм зажима с конусом 7 : 24 имеет следующие недостатки при высоких частотах вращения:

— от центробежных сил тело шпинделя деформируется, и в результате этого происходит дополнительное осевое перемещение инструмента, так как нет базирования по торцу. Например, при конусе №30 ($n = 30\,000$ мин$^{-1}$) шпиндель деформируется на 5 мкм;

— соединение недостаточно жесткое из-за отсутствия центрирования по торцу.

На рис. 22.12 приведена схема механизма зажима вращающегося инструмента, отвечающего требованиям скоростной обработки. Базирование оправки *1* осуществляется на коротком самотормозящемся конусе (конусность 1 : 10) и торце. Благодаря этому жесткость соединения повышается. При перемещении цанги *3* вверх происходят прижим оправки *1* к конусу и торцу и закрепление инструмента. При увеличении частот вращения растет и центробежная сила, действующая на лепестки *2* цанги, благодаря чему возрастает и усилие зажима. Для обеспечения надежной работы механизма зажима при смене инструмента диаметры оправок *1* должны отличаться не более чем на 5 мкм.

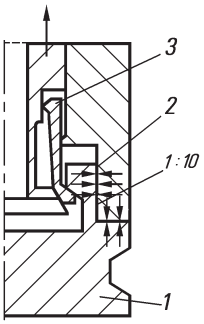


Рис. 22.12. Схема механизма зажима вращающегося инструмента высокоскоростных станков

ГОСТ 51547—2000 (DIN 69893 — тип HSK) определяет основные размеры конуса (см. т. 1).

Ниже приведены основные технические характеристики станков для высокоскоростной обработки (в знаменателе указаны перспективные значения параметров).

Ускоренные перемещения узлов, м/мин 80/160
Максимальные рабочие подачи, м/мин 25/50
Ускорения в узлах, м/с^2 . . . . . 3/10
Скорость резания для концевых фрез, м/мин. 1800/4200
Скорость резания для профильного инструмента, м/мин 4800/7200
Мощность главного привода, кВт. 12/21
Крутящий момент на шпинделе, н·м 20/80
Максимальная частота вращения, мин$^{-1}$ 24 000/Св. 30 000

Наиболее часто высокоскоростная обработка реализуется на многоцелевых станках фрезерно-расточного типа, наиболее полно отвечающих специфическим требованиям скоростного резания.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ

Сертификация, испытания, исследования, эксплуатация, ремонт и модернизация оборудования

23.1. Цели и задачи испытаний оборудования

Все испытания и исследования оборудования автоматизированных производств условно можно подразделить на следующие виды: сертификационные испытания, приемосдаточные испытания серийного оборудования, испытания опытных образцов новых моделей и лабораторные испытания и исследования станков, отдельных узлов и механизмов.

Система сертификации оборудования разработана в целях реализации закона Российской Федерации «О защите прав потребителя» в области металлообрабатывающих станков. Основная цель приемосдаточных испытаний — проверка качества изготовления, сборки и регулирования оборудования и соответствие его нормативам и техническим условиям, действующим в отношении данного оборудования. Испытания проводятся, как правило, на заводах-изготовителях.

Испытания опытных образцов оборудования проводятся в условиях, близких к лабораторным, а результаты испытаний предъявляются приемочной комиссии.

Лабораторные испытания и исследования оборудования и отдельных механизмов проводятся с различными целями. Это может быть получение экспериментальной информации для разработки расчетных моделей, проверка каких-либо теоретических положений, поиск путей повышения технико-экономических показателей, оценка новых технических решений и многое другое.

23.2. Сертификация оборудования

Система сертификации металлообрабатывающего оборудования предоставляет возможность изготовителям и продавцам подтвердить соответствие продукции требованиям стандартов в области безопасности и экологической чистоты, а также официально подтвердить достигнутые показатели технического уровня или отдельные технические характеристики. Система предназначена для сертификации большинства типов станков.

Предусмотрены два вида сертификации: обязательная и добровольная.

Обязательной сертификации подлежат (в настоящее время) малогабаритные металлообрабатывающие станки с массой не более 0,3 т, с мощностью привода главного движения для однофазного переменного тока не более 1,5 кВт, для

трехфазного переменного тока — более 2 кВт. Проверяемыми параметрами при обязательной сертификации в общем случае являются:

- безопасность конструкции;
- электробезопасность;
- безопасность гидро- и пневмооборудования;
- уровень шума и вибрации;
- содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
- эргономические параметры.

Добровольная сертификация проводится по схеме и в объеме, выбранным заявителем и согласованным с органом по сертификации. Проверке могут подвергаться как параметры безопасности, так и функциональные параметры оборудования.

Организационную структуру системы сертификации образуют Госстандарт России, орган по сертификации металлообрабатывающих станков (ЭНИМС), испытательные центры (лаборатории) (в основном на крупных заводах-изготовителях) и Совет по сертификации.

Основополагающими принципами системы сертификации являются объективность оценок, достоверность и воспроизводимость результатов, конфиденциальность коммерческой и иной информации.

23.3. Приемосдаточные испытания оборудования

По существующим техническим условиям приемосдаточные испытания можно подразделить на следующие этапы.

23.3.1. Установка и выверка станков

Если станина жесткая (отношение длина/высота менее 1,5...2), то станок ставят на три точки опоры, в противном случае — на большее число точек опор. Используя клиновые башмаки, станок выверяют с помощью уровней в продольном и поперечном направлениях так, чтобы погрешность не превышала 0,02... 0,04 мм/м. Прецизионные станки ставят на отдельный виброизолированный фундамент. Отклонение температуры окружающей среды от номинала в период проверок не должно превышать:

для станков класса точности С $\pm 0{,}5\,^{\circ}$C,

для станков классов точности А и В $\pm 1\,^{\circ}$C.

23.3.2. Предварительное опробование станков

Проверяются усилия на маховичках и рукоятках для ручного перемещения, работа всех органов управления, легкость нахождения нужного положения органа управления при его переключении, производятся все возможные переключения с одной скорости на другую. При этом в качестве оснастки используются динамометры сжатия, растяжения, динамометрические ключи.

Проводится испытание электрооборудования:

а) повышенным напряжением для проверки изоляции проводов и двигателей в течение 1 мин с испытательным напряжением 85% от наиболее низкого, при котором аппараты испытывались до монтажа, но не менее 1500 В;

б) измеряется сопротивление изоляции всех цепей (главных силовых, управления, освещения, сигнализации и т. д.) относительно корпуса станка, а также сопротивление изоляции между отдельными фазами силовых цепей;

в) проверяется нагрев электрооборудования при работе станка.

23.3.3. Испытания станков на холостом ходу

а) *проверяют все частоты* вращения от n_{min} до n_{max}. На максимальной частоте станок работает до установившейся температуры шпиндельных опор, характеризующей их натяг;

б) *проверяют правильность* функционирования электрооборудования:

- обеспечение требуемого цикла работы или правильности исполнения команд (для станков с программным управлением);
- правильность работы путевых выключателей;
- работу защитных блокировок;
- надежность действия тепловой, нулевой и максимальной защиты;
- нагрев катушек аппаратов, сопротивлений и пр.;
- отсутствие гудения магнитных систем аппаратов;

в) *проверяют подачи* от S_{min} до S_{max} и работоспособность всех механизмов (патрона, пиноли, механизмов быстрого перемещения, механизмов ограничения подачи и др.);

г) *проверяют правильность* функционирования систем смазывания:

- уровень масла в баке при работе насоса;
- отсутствие вытекания масла из подшипников и уплотненных мест, минуя слив, просачивания из системы распределения;
- правильность функционирования контрольных элементов системы смазывания и др.;

д) *проверка правильности* функционирования системы охлаждения, конструктивного и монтажного исполнения и расположения системы охлаждения:

- максимальное количество подаваемой жидкости в минуту;
- потребляемая мощность электродвигателя насоса при максимальном подводе охлаждающей жидкости;
- нагревание корпуса насоса при максимальном подводе жидкости в течение 1 ч и др.;

е) *испытание органов ручного управления.* Контролируется расположение рукояток, правильность, ясность изображения и удобочитаемость таблиц и шкал; проверяется удобство формы рукояток, маховичков.

Дальнейшие испытания описываются на примере станков токарной группы:

ж) *определяются время разгона* и *торможения шпинделя* с трехкулачковым самоцентрирующимся патроном на максимальной частоте (только при испытании опытных образцов);

з) *испытание механизма главного привода* на режимах частых пусков, остановов и реверсирования на n_{max}: один цикл — 10 с для токарных станков с максимальным диаметром 250…320 мм;

и) *измерение мощности холостого хода* (определение потерь на трение). На холостом ходу последовательно включают все ступени частот вращения шпинделя и измеряют мощность, потребляемую двигателем из сети P_c (для серийных

станков проверка осуществляется на частотах n_{min}, $n_{ср}$, n_{max}). Баланс мощности при работе станка на холостом ходу выглядит так:

$$P_{с} = P_{д} + P_{х.х},$$

где $P_{с}$ — мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт; $P_{д}$ и $P_{х.х}$ — соответственно потери мощности в электродвигателе и механической части привода.

На основании результатов измерений строят графики в координатах $[P_{с}, n]$;

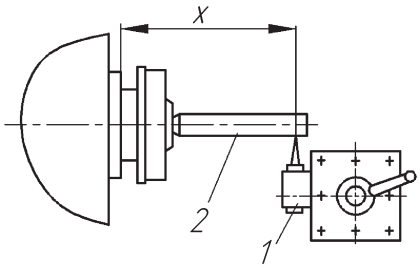


Рис. 23.1. Измерение вибраций на холостом ходу станка:
1 — датчик относительных колебаний;
2 — образцовая оправка

к) *испытания на шум.* Определяются уровни шума и уровни частотных составляющих спектра шума при работе станка на холостом ходу. На тех ступенях скоростей, при которых возникает максимальный уровень шума, измеряют также уровни частотных составляющих спектра шума, при этом микрофон располагают в точке, соответствующей положению рабочего. Более подробно об исследовании шумовых характеристик см. п. 23.5;

л) *испытание на вибрации* на холостом ходу станка. Определяются уровни и частотный спектр вынужденных колебаний шпинделя относительно суппорта при работе станка на холостом ходу. Датчик *1* (рис. 23.1) для измерения относительных перемещений закрепляют (в горизонтальной плоскости) в резцедержателе станка. В шпинделе закрепляют образцовую оправку *2* с радиальным биением оправки не более 3 мкм. Суппорт устанавливают так, чтобы датчик *1* измерял относительные колебания между резцедержателем и оправкой *2* на расстоянии *X* от торца шпинделя, которое зависит от типоразмера станка. Сигнал от датчика через усилитель подается на вход анализатора, с помощью которого определяются величины двойных амплитуд частотных составляющих спектра относительных колебаний в диапазоне частот до 1000 Гц;

м) *измерение температурных деформаций станка.* Определяются изменения расположения оси шпинделя относительно резцедержателя суппорта в результате разогрева станка после вращения шпинделя на холостом ходу. На шпинделе устанавливается быстросъемная державка *1* (рис. 23.2) с двумя индикаторами. На суппорте соосно со шпинделем станка закрепляется короткая цилиндрическая оправка *2* с точно доведенным плоским торцом и цилиндрической поверхностью. Индикаторы обкатываются вокруг оправки и фиксируют отклонения. Измерения проводятся за 30 мин до стабилизации температурного режима, который характеризуется тем, что на протяжении 15 мин изменение относительного расположения не превышает: для станков нормальной и повышенной точности — 10%

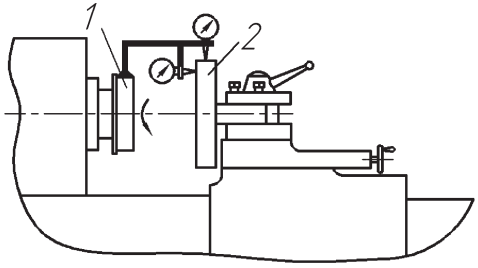


Рис. 23.2. Измерение температурных деформаций станка:
1 — быстросъемная державка; *2* — короткая цилиндрическая оправка

достигнутого смещения; для станков высокой и особо высокой точности — 5% достигнутого смещения.

23.3.4. Испытание станков под нагрузкой

Испытание проводится при нагружении главного привода станка максимальным моментом. Нагружающий момент может быть обеспечен различными нагружающими устройствами (например, электромагнитным порошковым тормозом) или резанием заготовки с глубиной, обеспечивающей максимальный момент. При испытаниях контролируется мощность, потребляемая двигателем из сети $P_{\text{с}}$. Баланс мощности при работе привода под нагрузкой выглядит следующим образом:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{д}} + P_{\text{х.х}} + P_{\text{н}} + P_{\text{эф}},$$

где $P_{\text{н}}$ — нагрузочные потери в приводе станка, связанные с изменением характера трения при нагружении; $P_{\text{эф}}$ — мощность на выходном валу привода (на шпинделе).

По результатам измерений мощности определяют коэффициент полезного действия привода $\eta = P_{\text{эф}}/P_{\text{с}}$, который характеризует качество привода. Кратковременно осуществляется перегрузка привода — 1,25 $M_{\max}$.

23.3.5. Проверка станков на точность

При испытаниях станков на точность можно выделить четыре группы проверок:

1) проверка точности базовых поверхностей;

2) проверка взаимного расположения базовых поверхностей;

3) проверка формы траектории движения исполнительных органов станка;

4) проверка соответствия фактических перемещений исполнительного органа номиналу.

При комплексной оценке точности проверяют точность обработки на станке типовых деталей. Методики испытаний на точность ГОСТированы. Проверки осуществляются с помощью приспособлений и приборов. Более подробно о точностных проверках см. п. 23.4.

23.3.6. Испытание станков на жесткость

Испытание проводится статическим нагружением, при котором нагружающее усилие создается нагрузочными устройствами. В качестве устройств для нагружения могут быть использованы механизмы станка или специальные домкраты, а для измерения нагрузок — рабочие динамометры. Направление, величина и координаты точки приложения нагружающей силы должны примерно соответствовать реальным условиям нагружения станка в процессе резания при типичном случае его использования. Относительная деформация между инструментом и заготовкой измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности в точке резания.

Например, при проверке жесткости токарных станков общего назначения при заданной величине нагрузки определяется величина перемещения резцедержателя относительно оправки, установленной: в шпинделе (*I*—*I*), в пиноли

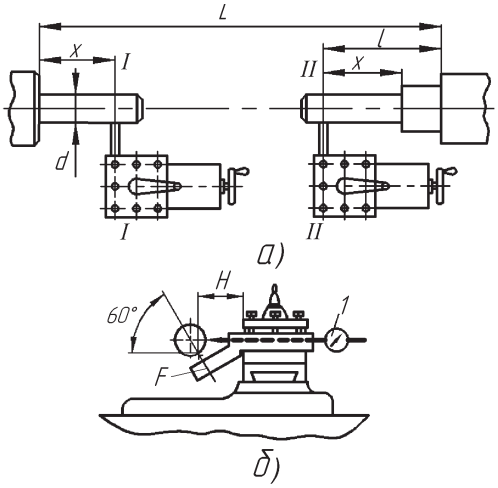


Рис. 23.3. Испытание токарных станков на жесткость:
а — положение узлов и схема нагружения; *б* — направление и точка приложения силы в плоскостях *I—I* и *II—II*; *1* — индикатор относительных перемещений

(*II—II*) (рис. 23.3). Положение узлов и деталей станка и точки приложения и направление действия нагружающей силы должны соответствовать рис. 23.3 и определяться величинами, указанными в табл. 23.1 и 23.2. За величину относительных перемещений резцедержателя и оправки в шпинделе (или пиноли) принимается среднеарифметическая из результатов двух испытаний и сравнивается с нормами жесткости (см. табл. 23.1).

23.1. Положение узлов при испытании и нормы жесткости токарных станков

Диаметр обрабатываемого изделия, мм, не более	Расстояние от точки приложения силы		Диаметр оправки d в точке измерения перемещения, мм	Прилагаемая сила F, Н	Допускаемое перемещение резцедержателя, мм, не более	
	до резцедержателя H, мм	до торца корпуса задней бабки, l, мм			относительно оправки в шпинделе	относительно оправки в пиноли
100	21	50	15	700	0,04	0,05
125	28	60	20	1000	0,05	0,07
160	28	70	25	1400	0,07	0,10
200	38	80	30	2000	0,10	0,13
250	38	95	35	2800	0,13	0,16

Примечание. Расстояние L от торца шпинделя до торца корпуса задней бабки принимается в пределах 0,75…0,85 наибольшего расстояния между центрами.

23.2. Расстояние *X* от точки приложения силы до торца шпинделя (переходной втулки) или пиноли в зависимости от конусного отверстия шпинделя или пиноли

Конусное отверстие в шпинделе или пиноли	Обозначение конусов Морзе №						
	0	1	2	3	4	5	6
Расстояние *X*	22	28	36	45	55	70	90

Конусное отверстие в шпинделе или пиноли	С конусностью 1:10 и 1:7, № (наибольший диаметр, мм)					
	80	90	100	110	120	140
Расстояние *X*	100	110	120	135	150	170

23.3.7. Испытание станков на виброустойчивость

Проводится оценка границы устойчивости станка при обработке. Испытание может осуществляться при резании и при нагружении упругой системы станка вибраторами. Например, при испытании опытных образцов токарных станков при резании для каждого вида обработки определяют «предельную стружку» $t_{пр}$, т.е. наибольшую глубину резания, мм, при которой процесс резания протекает устойчиво, без вибраций. По результатам испытаний строят кривые границы устойчивости в координатах «частота вращения шпинделя — $t_{пр}$» для каждого вида обработки.

23.3.8. Дополнительные испытания станков с ЧПУ

Выполняются в целях оценки точности станков, оснащенных системами ЧПУ, и получения информации о безотказности их работы по заданной программе. Оценивается точность позиционирования и зона нечувствительности (об этом см. подробнее п. 23.4), рассеяние положения инструмента при его многократной автоматической смене, точность и чистота обработки контрольного образца, безотказность станка и системы ЧПУ.

Рассеяние положения инструмента при его многократной автоматической смене характеризуется среднеквадратическим отклонением S фактических положений контрольной оправки (рис. 23.4) от положения, принятого за начальное. Единичное значение отклонения f_i есть разница в показаниях индикаторов при i-й смене и при начальном положении (индекс 0) отдельно для радиального и осевого направления, т.е. $f_i = p_{1(i)} - p_{1(0)}$. Во всех случаях измерение отклонений повторяется 5 раз для серийных станков и 10 раз — для опытных образцов.

Вычисляется размах отклонений:

$$R = f_{\max} - f_{\min},$$

где $f_{\max}$ и $f_{\min}$ — максимальные и минимальные единичные отклонения.

Среднеквадратическое отклонение $S = \alpha R$, где α — коэффициент, равный 0,43 — для серийных станков и 0,32 — для опытных.

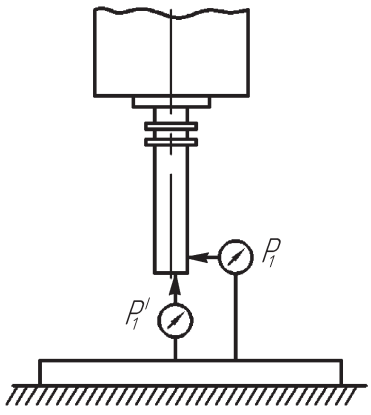


Рис. 23.4. Установка измерительных индикаторов для оценки рассеяния положения инструмента при его автоматической смене

Точность и шероховатость обработки поверхностей контрольного образца характеризуется отклонениями фактических размеров и формы профиля образца от заданных на чертеже. Образец обрабатывают в два прохода — черновой и чистовой. Режимы резания на чистовом проходе подбирают таким образом, чтобы обеспечить наивысшую точность обработки.

На токарных патронно-центровых станках проводится обработка контрольных образцов с прямолинейными и круговыми контурами (рис. 23.5). Проводится контроль угла конуса, прямолинейности образующей, отклонения от круглости поверхностей с диаметрами D_1, D_2 в поперечном сечении и поверхностей, образо-

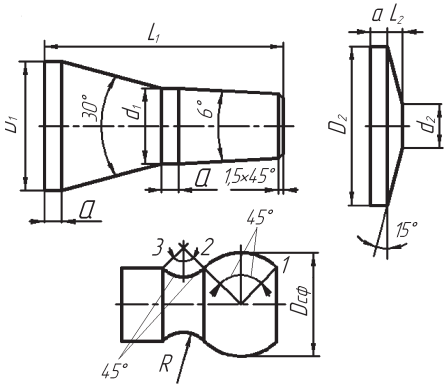


Рис. 23.5. Контрольные образцы для испытания токарных патронно-центровых станков: $D_1 \geq 0{,}25D_{max}$, но не более 300 мм; $d_1 \leq D_1 - (4\ldots5)\,t_Y$; $L_1 \approx 0{,}5D_{max}$, но не более 500 мм, $a = 15\ldots20$ мм; $D_2 \geq 0{,}5D_{max}$; $L_2 \geq (2\ldots3)t_X$ (t_Y — шаг ходового винта поперечной подачи, мм; t_X — шаг ходового винта продольной подачи, мм); $D_{сф} = 1/8D_{max}$, но не более 300 мм; $R_1 = 0{,}25D_{сф}$

ванных дугами *1—2* и *2—3* в продольном сечении, шероховатости поверхности.

Испытанию на безотказность подвергают все выпускаемые станки с ЧПУ в процессе приемосдаточных испытаний и при испытании опытных образцов. Они проводятся на холостом ходу по управляющей тест-программе и в работе. Тест-программа должна содержать контрольные точки, координаты которых при испытаниях могут быть периодически проверены с помощью внешних измерительных устройств. Длительность одного цикла работы станка по управляющей тест-программе — порядка 3...30 мин.

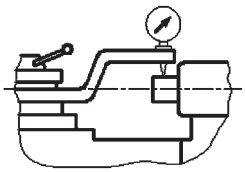
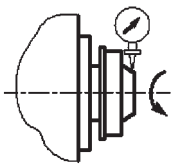
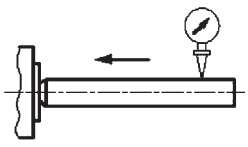
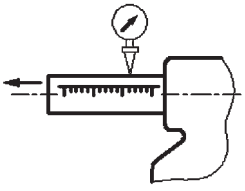
Суммарная продолжительность работы станка по управляющей программе на холостом ходу (наработка) при приемосдаточных испытаниях серийных легких и средних токарных станков составляет 8 ч. Наработка при испытаниях опытных образцов станков с ЧПУ — не менее 48 ч. Отказы, в том числе сбои, во время испытаний на холостом ходу не допускаются. Испытания на безотказность в работе проводят при обработке деталей по управляющей программе после испытаний на холостом ходу.

23.4. Испытания станков на точность

Испытание станков на геометрическую точность. Геометрическая точность, характеризующая качество изготовления и сборки станка, является необходимым условием достижения заданной точности обработки на станке. Оценка геометрической точности включает в себя первые две группы проверок на точность: 1) проверку точности базовых поверхностей; 2) проверку взаимного расположения базовых поверхностей.

В табл. 23.3 приведены для примера содержание ряда проверок на геометрическую точность токарно-винторезного станка с диаметром обработки до 320 мм и допускаемые отклонения для станка нормальной точности. Поясним более подробно как проводится, например, проверка 4. В отверстии шпинделя передней бабки находится оправка с коническим хвостовиком и очень точной цилиндрической частью (отклонение от прямолинейности образующей цилиндра не более 1 мкм). Индикатор устанавливается так, чтобы его мерительный штифт касался поверхности оправки: а) по ее верхней образующей; б) по ее боковой образующей. Каретка перемещается вдоль станины. В каждом разделе проверки отклонение замеряется по двум диаметрально противоположным образующим (при повороте шпинделя на 180°). Погрешность определяется среднеарифметической результатов обоих замеров в данной плоскости.

23.3. Проверка геометрической точности токарно-винторезного станка

Номер проверки	Проверяемый параметр	Метод проверки (эскиз)	Допускаемое отклонение, мм
1	Прямолинейность направляющих станины для каретки: – в вертикальной плоскости – в горизонтальной плоскости		0,02 на длине 1000 мм (только в сторону выпуклости) (только в сторону вогнутости с центром кривизны впереди станка)
2	Параллельность направления перемещения задней бабки направлению движения каретки		а) 0,03 на длине 1000 мм, 0,05 на всю длину; б) 0,02 на длине 1000 мм, 0,03 на всю длину
3	Радиальное биение центрирующей шейки шпинделя передней бабки		0,01
4	Параллельность оси шпинделя передней бабки направлению движения каретки		а) 0,03 на длине 300 мм (свободный конец оправки может отклоняться только вверх); б) 0,015 на длине 300 мм (свободный конец оправки может отклоняться только в сторону резца)
5	Осевое биение шпинделя передней бабки		0,01
6	Перпендикулярность торцовой поверхности буртика шпинделя передней бабки к оси вращения шпинделя		0,01 на диаметре буртика
7	Параллельность перемещения пиноли направлению движения каретки		а) 0,03 на длине 1000 мм (при выдвижении конец пиноли может отклоняться только вверх); б) 0,01 на длине 1000 мм (при выдвижении конец пиноли может отклоняться только в сторону резца)

Окончание табл. 23.3

Номер проверки	Проверяемый параметр	Метод проверки (эскиз)	Допускаемое отклонение, мм
8	Точность шага ходового винта и передаточной цепи от шпинделя к ходовому винту		Накопленная погрешность: 0,03 на длине 100 мм; 0,05 на длине 300 мм
9	Точность изделия после чистовой обработки на станке. Отсутствие: овальности конусности		0,01 0,03 на длине 300 мм
10	Плоскость торцов поверхности после чистовой обточки на станке		0,02 на диаметре 300 мм (только в сторону вогнутости)

Проверка точности кинематических цепей станков. Кинематическая точность есть точность сохранения заданных отношений скоростей движения исполнительных звеньев станка, участвующих в создании какого-либо сложного движения формообразования. Стандартами предусмотрены проверки соответствующих кинематических цепей зубообрабатывающих, токарно-винторезных, резьбошлифовальных и других станков.

Токарно-винторезные станки проверяются на ходу ощупыванием измерительным наконечником прибора витков эталонного винта. Для зубообрабатывающих станков кинематическая точность — наиболее важный параметр. Кинематические погрешности проявляются на детали в виде ошибок шага и профиля зубьев, накопленной ошибки окружных шагов.

Простым методом проверки кинематической точности является проверка с помощью теодолита. Станок при этом настраивают на нарезание колеса с максимально возможным на этом станке числом зубьев (станки средних размеров). Теодолит устанавливают в центре стола станка и визируют по неподвижной точке вне станка. Шпинделю станка дают один оборот, при этом стол с теодолитом поворачивается на угол, рад, теоретически равный

$$\varphi_m = 2\pi i,$$

где i — передаточное отношение проверяемой кинематической цепи.

Затем оптическую трубу теодолита поворачивают в первоначальное положение до совпадения ее оптической оси с ранее выбранной неподвижной точкой вне станка, а по шкале теодолита отсчитывают фактический угол φ, на который повернулся стол. Разность $\Delta\varphi = \varphi_m - \varphi$ есть кинематическая погрешность на угле φ поворота стола. Далее эти операции повторяют до тех пор, пока стол не повернется на 360°. Точность такого метода может достигать 1...2″, однако периодические остановки станка, недопустимые при изготовлении точных колес, не соответствуют условиям проявления ошибок станка в работе.

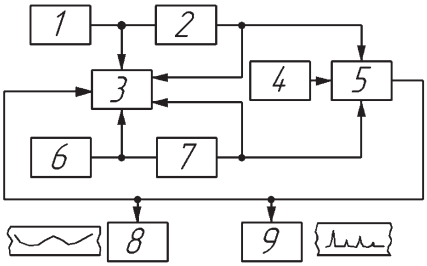


Рис. 23.6. Схема кинематомера: *1*, *6* — датчики; *2*, *7* — устройства согласования; *3* — устройство контроля; *4* — устройство калибровки; *5* — сравнивающее устройство; *8* — самопишущий прибор; *9* — спектроанализатор

Кинематический контроль станка в работе заключается в сравнении движения контролируемого механизма с движением точного механизма, образованного датчиками различных типов. Образцовое движение в приборе (рис. 23.6) организуется датчиками *1* и *6*, преобразующими движение входного и выходного звеньев кинематической цепи в электрический сигнал. Датчики имеют определенную чувствительность к перемещению, причем при одинаковой чувствительности информационный параметр сигнала, характеризующий перемещение датчика входного звена, будет в u раз больше сигнала датчика выходного звена (u — передаточное число). Следовательно, необходимы устройства *2* и *7* согласования характеристик датчиков с передаточным отношением контролируемой цепи. Далее согласованные сигналы с датчиков необходимо сравнить между собой в устройстве *5*, выходной сигнал которого в определенном масштабе пропорционален кинематической погрешности. Этот масштаб задает устройство калибровки *4*. Выходной сигнал регистрируется самопишущим прибором *8* или спектроанализатором *9*. Прибор должен иметь также устройство контроля *3*, позволяющее проверить работу всех его элементов.

Передаточное отношение кинематической цепи с вращательным движением входного и выходного звеньев

$$i = \varphi_{вых}/\varphi_{вх}.$$

Углы поворота звеньев могут быть выражены через угловую скорость и угловое ускорение: $\varphi = \dot{\varphi} t$; $\varphi = \ddot{\varphi} t^2$.

Поэтому измерение кинематической погрешности может быть основано на измерении отклонения *угловых положений, угловых скоростей* (угловых частот) и *угловых ускорений*. Относительные погрешности γ для угла поворота, угловой частоты и углового ускорения определяют по формулам

$$\gamma_\varphi = \frac{\gamma}{\Delta\varphi} = \text{const}; \ \gamma_{\dot{\varphi}} = \frac{\gamma}{\Delta\varphi 2\pi f}; \ \gamma_{\ddot{\varphi}} = \frac{\gamma}{\Delta\varphi 4\pi^2 f^2},$$

где f — частота измеряемой погрешности.

При малых частотах измеряемой погрешности измерение отклонения угла поворота дает максимальное количество информации. Отклонения угловой частоты и углового ускорения целесообразно измерять при проверке передач в эксплуатационных условиях.

На рис. 23.7 приведена схема кинематомера, разработанного в ЭНИМСе, и относящегося к фазовым кинематомерам. На выходном звене передачи установлен датчик, имеющий два оптических лимба *1*, вращающихся с частотой 50 $с^{-1}$.

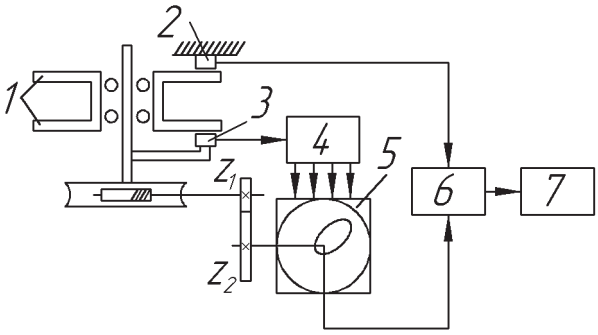


Рис. 23.7. Схема кинематомера конструкции ЭНИМС:
1 — оптические лимбы; *2* и *3* — считывающие головки; *4* — фазорасщепитель; *5* — фазовращатель; *6* — фазометр; *7* — самописец

Сигнал неподвижной считывающей головки *2* поступает на один вход фазометра *6*. Сигнал с головки *3*, вращающейся совместно со звеном передачи, подается на фазорасщепитель *4*, четырехфазным напряжением которого питается емкостный фазовращатель *5*, соединенный вспомогательной передачей со входным звеном передачи. Передаточное отношение вспомогательной зубчатой передачи $i_{всп} = N/i_{контр}$, где N — число штрихов на лимбе; $i_{контр}$ — передаточное число контролируемой передачи.

Суммарная частота на входе фазовращателя равна частоте снимаемой с головки *2* независимо от частоты вращения контролируемой передачи. Сигналы с выхода фазовращателя *5* и головки *2* поступают на входы фазометра *6*. Сдвиг фаз, пропорциональный кинематической погрешности передачи, регистрируется самописцем *7*. Частота сигнала на входе фазометра находится в диапазоне 150...300 кГц; она зависит от числа штрихов и частоты вращения лимбов. Эталонное передаточное отношение прибора согласуется с передаточным отношением контролируемой передачи за счет механических передач, ошибки которых должны быть пренебрежимо малы. Описанная схема имеет на входе передачи фазовращатель с электрической разверткой, а на выходе — с механической.

Вторым способом измерения кинематической погрешности механизмов являются измерение и сравнение неравномерности скорости движения входного и выходного звеньев. Отдельно измеряются неравномерности скоростей каждого звена, которые затем интегрируются. Получается сигнал, пропорциональный отклонению пути. Далее сигнал входного звена пропускается через масштабное устройство, согласующее его с передаточным числом и параметрами датчика. Уменьшенный сигнал входного звена вычитается из сигнала, характеризующего неравномерность выходного звена. Разностный сигнал несет информацию об относительной неравномерности движения выходного звена по пути, т.е. о кинематической погрешности механизма.

Устройства для измерения кинематической погрешности на основании определения неравномерности движения подразделяются на две группы: с интегратором, совмещенным с датчиком, и с интегратором вне датчика. Первую группу представляют инерционные кинематомеры. Схема инерционного датчика неравномерности вращения приведена на рис. 23.8. В корпусе *1* датчика подве-

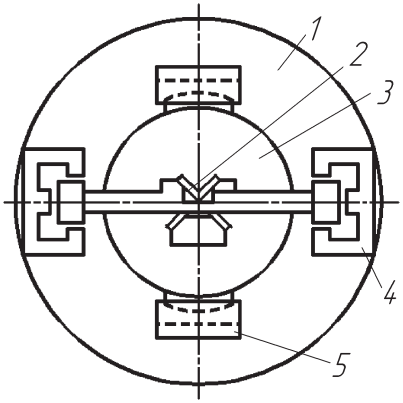


Рис. 23.8. Схема инерционного датчика неравномерности вращения:
1 — корпус; *2* — плоские пружины; *3* — инерционная масса; *4* — индуктивные преобразователи; *5* — демпфер

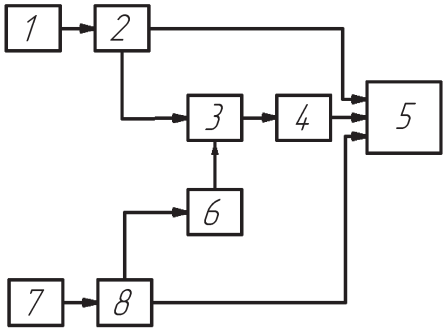


Рис. 23.9. Структурная схема сейсмического кинематомера:
1 и *7* — сейсмические датчики; *2* и *8* — усилители; *3* — сумматор; *4* — усилитель; *5* — самописец; *6* — согласующее устройство

шена без трения на крестовых плоских пружинах *2* или на струне инерционная масса *3*, движение которой для измеряемых частот вариации скорости является равномерным. Смещение корпуса датчика по отношению к инерционной массе представляют собой отклонения от равномерного движения, которые преобразуются индуктивными преобразователями *4* в электрический сигнал. Подбором собственной частоты инерционного датчика, характеризуемой инерционной массой *3* и жесткостью подвески *2*, а также степени демпфирования корпуса датчика относительно инерционной массы, характеризуемой коэффициентом связи демпфера *5*, создают условия, при которых выходной сигнал инерционного датчика пропорционален отклонениям положения звена от теоретического при равномерном движении.

Инерционные датчики можно использовать: а) для измерения неравномерности вращательного или прямолинейного движения звена во времени; б) для измерения относительной неравномерности движения двух или более звеньев.

Структурная схема сейсмического кинематомера, использующего оба вида измерения, приведена на рис. 23.9. Инерционные датчики *1* и *7*, устанавливаемые соответственно на выходном и входном звеньях передачи, должны иметь одинаковую собственную частоту, затухание и полное (активное и реактивное) сопротивление. Сигнал с датчика *1* через усилитель *2* подается на первый канал *5* самописца, регистрирующий неравномерность движения выходного звена во времени. Так же регистрируется неравномерность движения входного вала (датчик *7*, усилитель *8*, третий канал самописца *5*).

Для регистрации относительной неравномерности вращения, которая собственно и является кинематической погрешностью, сигнал усилителя *8* проходит через согласующее устройство *6* на сумматор *3*, где он суммируется с сигналом усилителя *2*. Сигнал сумматора усиливается усилителем *4* и записывается на втором канале самописца *5* в виде диаграммы высокочастотных составляющих кинематической погрешности.

Приборы второй группы используют датчики, преобразующие движение в последовательность импульсов. Отклонение частоты импульсов от среднего значения является мерой неравномерности движения. В одном из первых приборов этого типа на звене передачи, неравномерность движения которого измеряется, установлен зубчатый диск, прерывающий луч света, освещающий фотоэлемент. Форма импульсов с фотоэлементов зависит от колебаний скорости. Импульсы усиливаются и выпрямляются. Отклонение выпрямленного тока от постоянного значения пропорционально неравномерности угловой скорости. Пример контроля кинематической погрешности цепи обката приведен на рис. 23.10. При контроле зубофрезерного станка мод. 5А308П проявились 48 волн циклической погрешности за один оборот стола при настройке на нарезание колеса с $Z = 48$ (рис. 23.10, *а*). Источником погрешности оказался карданный вал, соединяющий шпиндель фрезы с валом гитары деления; накопленная погрешность при этом составила 40″.

Контроль станка мод. 5К301 при настройке на нарезание колеса с $Z = 72$ выявил 60 волн циклической погрешности (рис. 23.10, *б*). Источником циклической погрешности явилась делительная пара с числом зубьев червячного колеса 60; накопленная погрешность составила 22″.

Диаграмма кинематической погрешности цепи обкатки зубодолбежного станка мод. 5107 при соотношении частот вращения стола с заготовкой и штосселя с долбяком 1 : 2 показала, что накопленная погрешность делительной пары стола равна 14″, а делительной пары штосселя — 50″ (рис. 23.10, *в*). Основную долю циклической погрешности внесли червяки делительных пар, которые дали 90-ю и 180-ю гармоники погрешности в соответствии с числами зубьев колес (рис. 23.10, *г*).

Оценка точности позиционирования и зоны нечувствительности станков с позиционными и контурными системами ЧПУ проводится как для серийных,

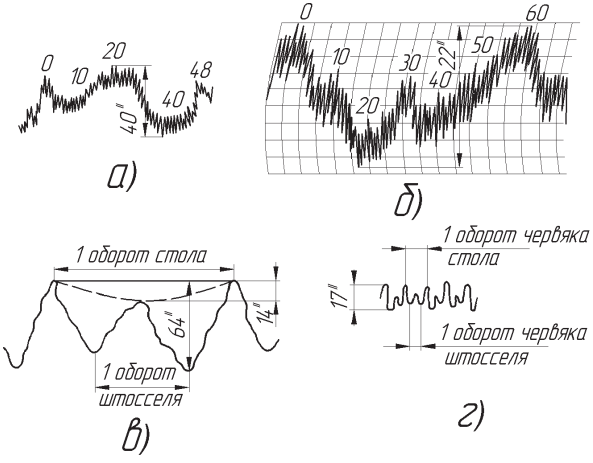


Рис. 23.10. Результаты измерения кинематической погрешности зуборезных станков с помощью кинематомера КН-7У:
а — зубофрезерного станка мод. 5А308П; *б* — зубофрезерного станка мод. 5К301; *в, г* — зубодолбежного станка мод. 5107

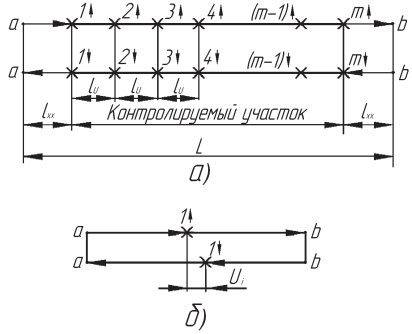


Рис. 23.11. Схемы перемещения подвижного узла:
а — при определении точности позиционирования; *б* — при оценке зоны нечувствительности (стрелки у номеров контрольных точек, направленные вверх, соответствуют движению в положительном направлении, а направленные вниз — в отрицательном)

так и для опытных образцов по методике, разработанной в ЭНИМСе. Точность позиционирования определяется статистическими показателями, которые находят по результатам измерений, выполняемых в контрольных точках отдельно для каждой программируемой оси движения и отдельно для положительного и отрицательного направлений движения. Контрольными точками *1*, *2*, *3*, ..., *m* (рис. 23.11, *а*) являются границы интервалов, на которые разбивается контролируемый участок $l_{\text{к}}$. Интервал между контрольными точками определяется суммой

$$l_{\text{и}} = l_{\text{кр}} + l_{\text{доп}},$$

где $l_{\text{кр}}$ — величина, кратная шагу t основной периодической составляющей систематического отклонения (при использовании кругового датчика обратной связи, расположенного непосредственно на ходовом винте или связанного с ним через мультипликатор, шаг t принимается равным шагу ходового винта; при использовании линейного датчика обратной связи, расположенного вдоль направляющих перемещаемого узла, шаг t равен шагу линейного датчика; при использовании линейного индуктосина шаг 2 мм); $l_{\text{доп}}$ — дополнительное приращение интервала, равное определенной доле шага t из ряда 0,1; 0,3; 0,7 и 0,9 (по критериям точности и воспроизводимости результатов более предпочтительны значения 0,3t и 0,7t).

В результате контрольные точки располагаются так, что за счет последовательного приращения $l_{\text{доп}}$ при прохождении 10 интервалов $l_{\text{и}}$ обеспечивается выборка 10 долей периода (шага) t через 0,1 его величины. Совокупность полученных долей шага t образует составной период основной периодической компоненты систематического отклонения. Составной период растянут вдоль проверяемой оси на длину $t_{\text{с}}$, которая равна 10 $l_{\text{и}}$. Количество контрольных точек берут из условия прохождения нескольких (не менее трех) составных периодов вдоль проверяемой оси.

В качестве устройства для измерения точности позиционирования могут быть использованы: лазерный интерферометр, линейный индуктосин, фотоэлектрический измеритель линейных перемещений, штриховая мера и пр.

Номенклатура основных показателей точности позиционирования, подлежащих контролю и нормированию, принимается в соответствии с международными стандартами.

1. Максимальное отклонение от заданного положения при двухстороннем подходе *P* и одностороннем подходе *M*.

2. Точность повторного подхода $R_{\max}$ — максимальный размах отклонений от заданного положения при подходе к заданному положению только в одном направлении.

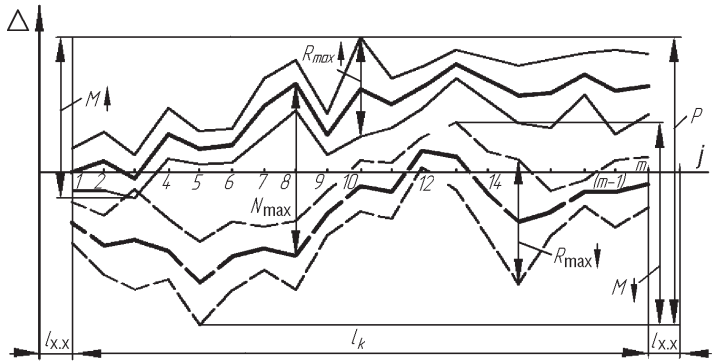


Рис. 23.12. Основные показатели точности позиционирования: ——— — средние отклонения при движении в положительном направлении; – – – — средние отклонения при движении в отрицательном направлении; ——— — границы рассеяния отклонений при движении в положительном направлении; – – – — в отрицательном направлении

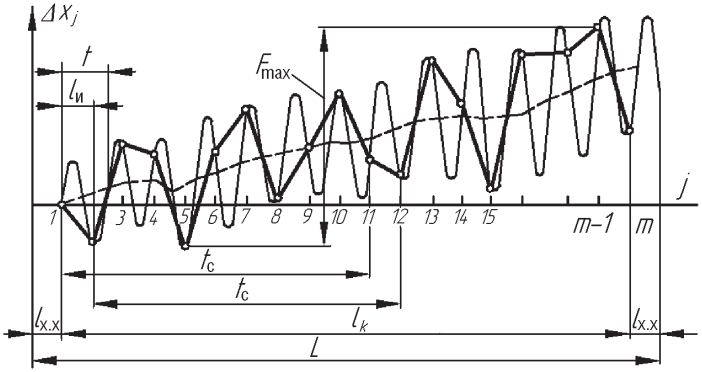


Рис. 23.13. Измеряемое суммарное систематическое отклонение

3. Максимальная вариация при реверсировании N_{max} — максимальная разность средних величин отклонений от заданного положения при подходе узла станка к заданному положению с противоположных сторон. Основные показатели Δ в графическом виде представлены на рис. 23.12. Дополнительно определяют ряд вспомогательных показателей, которые характеризуют отдельные составляющие, входящие в интегральные показатели *P* и *M*. Вспомогательные показатели определяются в целях выявления путей улучшения интегральных показателей.

4. Максимальное систематическое отклонение от заданного положения F_{max} — максимальная разность средних отклонений от заданного положения при подходе подвижного узла станка к заданному положению только в одном направлении (рис. 23.13).

5. Максимальное накопленное отклонение A_{max} — максимальная разность текущих значений накопленного отклонения в точках на длине $(l_к - t_с)$ (рис. 23.14). Текущее накопленное отклонение в точке, соответствующей середине составного периода $t_с$, определяется как среднеарифметическое средних величин откло-

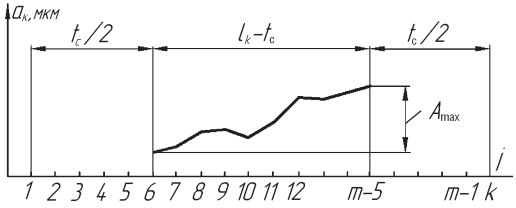


Рис. 23.14. Рассчитываемое накопленное отклонение

нений от заданного положения в точках на отрезке длиной t_c. Текущие значения в точках на длине $(l_к - t_c)$ определяются при последовательном смещении отрезка t_c в пределах контролируемой длины $l_к$.

6. Максимальный размах периодического отклонения B_{max} — максимальная разность текущих значений периодического отклонения в точках на длине любого из составных периодов t_c, расположенных в пределах длины $(l_к - t_c)$ (рис. 23.15). Текущие значения периодического отклонения в точках определяют как разность средних отклонений от заданного положения и текущих накопленных отклонений в этих точках.

Показатели M, R_{max}, F_{max}, A_{max} и B_{max} определяют для положительного и отрицательного направлений перемещения и обозначаются соответственно знаками ↑ и ↓.

Расчет основных и вспомогательных показателей точности позиционирования осуществляется в следующей последовательности.

Единичное отклонение от заданного положения узла

$$\Delta X_j^i\uparrow = X_j^i\uparrow - X_j;\ \ \Delta X_j^i\downarrow = X_j^i\downarrow - X_j,$$

где верхний индекс означает i-е повторное измерение ($i = 1, 2, 3, \ldots, n$) ($n = 5$ при испытании серийных станков, $n = 10$ при испытании опытных образцов станков); нижний индекс обозначает j-ю контрольную точку ($j = 1, 2, \ldots, m$); $\Delta X_j^i\uparrow$ ($\Delta X_j^i\downarrow$) — действительное положение узла, достигнутое по команде от системы управления станком при движении в положительном (отрицательном) направлении и определенное измерением; X_j — заданное положение, которое узел должен занять по команде от системы управления станком.

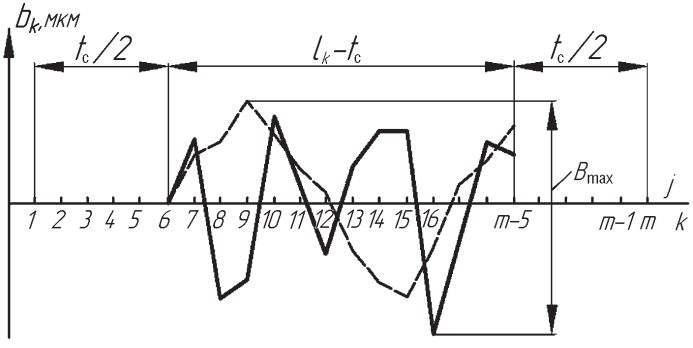


Рис. 23.15. Рассчитываемое периодическое отклонение (сплошные линии) и периодическое отклонение, упорядоченное по фазе (штриховые линии)

Среднее отклонение от заданного положения узла

$$\overline{\Delta X}_j\uparrow = \frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta X_j^i\uparrow}{n};\ \overline{\Delta X}_j\downarrow = \frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta X_j^i\downarrow}{n},\ j = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Среднеквадратическое отклонение от заданного положения узла

$$S_j\uparrow = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta X_j^i\uparrow - \overline{\Delta X}_j\uparrow)^2}{n-1}};\ S_j\downarrow = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta X_j^i\downarrow - \overline{\Delta X}_j\downarrow)^2}{n-1}},\ j = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Усредненное по трем соседним точкам среднеквадратическое отклонение от заданного положения узла:

$$\bar{S}_j\uparrow = \frac{S_{(j-1)}\uparrow + S_j\uparrow + S_{(j+1)}\uparrow}{3};\ \bar{S}_j\downarrow = \frac{S_{(j-1)}\downarrow + S_j\downarrow + S_{(j+1)}\downarrow}{3},\ j = 2, 3, 4, \ldots, (m-1);$$

для $j = 1$

$$\bar{S}_1\uparrow = \frac{S_1\uparrow + S_2\uparrow}{2};\ \bar{S}_1\downarrow = \frac{S_1\downarrow + S_2\downarrow}{2};$$

для $j = m$

$$\bar{S}_m\uparrow = \frac{S_{(m-1)}\uparrow + S_m\uparrow}{2};\ \bar{S}_m\downarrow = \frac{S_{(m-1)}\downarrow + S_m\downarrow}{2}.$$

Поле рассеяния отклонений от заданного положения узла с доверительной вероятностью 99,73%:

$j = 1, 2, 3, \ldots, m$.

Максимальное отклонение от заданного положения узла при двустороннем подходе

$$P = \left(\overline{\Delta X}_j + \frac{1}{2}R_j\right)_{\max}\uparrow\downarrow - \left(\overline{\Delta X}_k - \frac{1}{2}R_k\right)_{\min}\uparrow\downarrow,\ j = 1, 2, 3, \ldots, m;\ k = 1, 2, 3, \ldots, m,$$

где выражению в первых скобках соответствует наибольшее значение, а во вторых скобках — наименьшее значение, определяемое для перемещений в пределах длины $l_к$ в положительном и отрицательном направлениях.

Максимальное отклонение от заданного положения при одностороннем подходе

$$M\uparrow = \left(\overline{\Delta X}_j\uparrow + \frac{1}{2}R_j\uparrow\right)_{\max} - \left(\overline{\Delta X}_k\uparrow - \frac{1}{2}R_k\uparrow\right)_{\min};$$

$$M\downarrow = \left(\overline{\Delta X}_j\downarrow + \frac{1}{2}R_j\downarrow\right)_{\max} - \left(\overline{\Delta X}_k\downarrow - \frac{1}{2}R_k\downarrow\right)_{\min},$$

$$j = 1, 2, 3, \ldots, m;\ k = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Точность повторного подхода:

$$l_j = 6\cdot\bar{S}_j\uparrow;\ R_j\downarrow = 6S_j\downarrow;$$

$$R_{\max}\uparrow=(R_j\uparrow)_{\max};\ R_{\max}\downarrow=(R_j\downarrow)_{\max},$$
$$j = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Вариация при реверсировании

$$N_j=\left|\overline{\Delta X}_j\downarrow-\overline{\Delta X}_j\uparrow\right|,\ j = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Максимальная вариация при реверсировании

$$N_{\max}=(N_j)_{\max}, j = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Экстремальные систематические отклонения от заданного положения узла

$$\overline{\Delta X}_{\max}\uparrow=(\overline{\Delta X}_j\uparrow)_{\max};\ \overline{\Delta X}_{\min}\uparrow=(\overline{\Delta X}_j\uparrow)_{\min};$$
$$\overline{\Delta X}_{\max}\downarrow=(\overline{\Delta X}_j\downarrow)_{\max};\ \overline{\Delta X}_{\min}\downarrow=(\overline{\Delta X}_j\downarrow)_{\min},$$
$$j = 1, 2, 3, \ldots, m.$$

Максимальное систематическое отклонение от заданного положения узла:

$$F_{\max}\uparrow=\overline{\Delta X}_{\max}\uparrow-\overline{\Delta X}_{\min}\uparrow;\quad F_{\max}\downarrow=\overline{\Delta X}_{\max}\downarrow-\overline{\Delta X}_{\min}\downarrow.$$

Текущее накопленное отклонение от заданного положения узла

$$a_k\uparrow=\frac{\sum_{j=k-5}^{k+4}\overline{\Delta X}_j\uparrow}{10};\quad a_k\downarrow=\frac{\sum_{j=k-5}^{k+4}\overline{\Delta X}_j\downarrow}{10},$$
$$k-5\le j\le k+4; k = 6, 7, 8, \ldots, (m-4).$$

Экстремальные накопленные отклонения от заданного положения узла

$$a_{\max}\uparrow=(a_k\uparrow)_{\max};\quad a_{\min}\uparrow=(a_k\uparrow)_{\min};$$
$$a_{\max}\downarrow=(a_k\downarrow)_{\max};\quad a_{\min}\downarrow=(a_k\downarrow)_{\min};$$
$$k = 6, 7, 8, \ldots, (m-4).$$

Максимальное накопленное отклонение от заданного положения узла

$$A_{\max}\uparrow=a_{\max}\uparrow-a_{\min}\uparrow;\quad A_{\max}\downarrow=a_{\max}\downarrow-a_{\min}\downarrow.$$

Текущее периодическое отклонение (доля систематического отклонения от заданного положения узла, обусловленная наличием периодической погрешности)

$$b_j\uparrow=\overline{\Delta X}_j\uparrow-a_k\uparrow;\ b_j\downarrow=\overline{\Delta X}_j\downarrow-a_k\downarrow,\quad j=k=6, 7, 8, \ldots, (m-4).$$

Экстремальные значения текущего периодического отклонения в пределах k-го составного периода

$$b^k_{\max}\uparrow=(b_j\uparrow)_{\max};\ b^k_{\min}\uparrow=(b_j\uparrow)_{\min};$$
$$b^k_{\max}\downarrow=(b_j\downarrow)_{\max};\ b^k_{\min}\downarrow=(b_j\downarrow)_{\min},$$

где $k-5\le j\le k+4; k = 11, 12, 13, \ldots, (m-10)$ — номер точки середины составного периода.

Периодическое отклонение от заданного положения узла, определяемое в пределах k-го составного периода,

$$B_k\uparrow = b^k_{\max}\uparrow - b^k_{\min}\uparrow;\ \ B_k\downarrow = b^k_{\max}\downarrow - b^k_{\min}\downarrow,$$
$$k = 11, 12, 13, \ldots, (m-10).$$

Максимальное периодическое отклонение от заданного положения узла

$$B_{\max}\uparrow = (B_k\uparrow)_{\max};\ \ B_{\max}\downarrow = (B_k\downarrow)_{\max};$$
$$k = 11, 12, 13, \ldots, (m-10).$$

Зона нечувствительности для станков с позиционной системой управления определяется средним значением $\overline{u}$ разности отклонений фактических положений узла при подходе к точкам позиционирования с противоположных сторон. Для станков с позиционной системой ЧПУ и односторонним подходом к заданной координате зона нечувствительности не определяется. Для станков с контурной системой управления зона нечувствительности представляет собой среднее перемещение $\overline{u}$, которое не отрабатывается при изменении направления перемещения узла при отработке единичных импульсов.

Схема движений узла для оценки зоны нечувствительности показана на рис. 23.11, *б*. Можно воспользоваться также результатами испытаний на точность позиционирования. При этом единичное значение зоны нечувствительности определяется по формуле

$$u_i = p_i\uparrow - p_i\downarrow,$$

где $p_i\uparrow$ — показание прибора при подходе с положительного направления; $p_i\downarrow$ — показание прибора при подходе с отрицательного направления.

После этого в каждой контрольной точке определяется среднее значение зоны нечувствительности:

$$\overline{u} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} u_i.$$

В протоколе испытаний станка указывается величина зоны нечувствительности для каждой оси движения, которая равна наибольшему среднему ($\overline{u}_{\max}$), определенному в трех контрольных точках.

23.5. Исследование шумовых характеристик станков

Волны, распространяющиеся в сплошной жидкой, твердой или газообразной средах из-за каких-либо возмущений, создают колебания и шум. В диапазоне частот 16 Гц…20 кГц, в котором колебания воспринимаются ухом человека как звук, волны называются звуковыми. Колебания с частотами ниже 16 Гц называют инфразвуком, выше 20 кГц — ультразвуком. В твердой среде могут распространяться продольные волны, в которых частицы колеблются вдоль направления распространения волны, и поперечные волны, в которых частицы колеблются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Любое волновое движение твердого тела состоит из суммы продольных и поперечных волн. В жидкости и газе могут распространяться только продольные волны, и

любое волновое движение можно представить состоящим только из продольных волн, распространяющихся по разным направлениям. Область среды, в которой распространяются звуковые волны, называют *звуковым полем*.

Перенос энергии при распространении звуковой волны характеризуют вектором *мгновенной интенсивности звука* (плотности потока звуковой мощности), Вт/м^2:

$$\vec{I}_\tau = p\vec{v},$$

где p — звуковое давление (превышение давления над давлением в невозмущенной среде), Па; v — вектор скорости колебаний частиц среды, м/с.

Среднее по времени значение мгновенной интенсивности звука называют вектором интенсивности звука.

Другой энергетической характеристикой звукового поля является *плотность звуковой энергии* W, Дж/м^3, равная усредненной по времени сумме потенциальной и кинетической энергии волны в данной точке среды. Интенсивность звука и плотность звуковой энергии тесно связаны с величинами, определяющими физиологическое воздействие звука на человека.

Источник звука (излучатель) характеризуется звуковой (акустической) мощностью, частотным спектром излучения и характеристикой направленности. *Звуковой мощностью* P, Вт, источника звука называют общую звуковую энергию, излучаемую им в единицу времени. Большинство реальных источников излучают звук неодинаково в различных направлениях. Неравномерность излучения звука источником по направлениям характеризуют коэффициентом направленности, равным отношению интенсивности звука, создаваемого источником в свободном поле в данной точке сферы, в центре которой он находится, к средней интенсивности звука на поверхности той же сферы.

Для описания гармонических процессов в комплексной форме в акустике широко используется понятие *импеданса*. Он определяется отношением комплексного давления p к комплексной скорости v: $Z = p/v$, и не зависит от времени. С помощью импедансов характеризуют излучательные свойства источников звука, звукоизолирующие свойства ограждений, свойства звукопоглощающих поверхностей и др.

Интенсивность звуков, с которыми приходится иметь дело на практике борьбы с шумами, изменяется в очень широких пределах — на 15 порядков (в 10^{15} раз). Кроме того, раздражающее действие шума на человека пропорционально не квадрату звукового давления, а логарифму от него. Поэтому на практике пользуются *уровнями*, дБ:

интенсивности звука — $L_I = 10 \lg I/I_0$;

звукового давления — $L = 10 \lg p^2/p_0^2$;

скорости частиц — $L_v = 10 \lg v^2/v_0^2$,

где $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с — соответственно исходные интенсивность звука, среднеквадратическое звуковое давление и скорость частиц. При нормальных атмосферных условиях для плоской волны $L_I = L$.

Уровень звуковой мощности (дБ) источника шума определяется соотношением

$$L_{\text{р}} = 10 \lg P/P_0,$$

где $P_0 = I_0 S_0 = 10^{-12}$ Вт — исходная мощность, равная мощности переносимой звуковой волной интенсивности I_0 через единичную площадку $S_0 = 1$ м^2. Уровень суммы нескольких величин интенсивности, давления, скорости или мощности звука определяется по уровням последних L_i, $i = 1, 2, \ldots, n$ соотношением

$$L^{\Sigma} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_i} \right), \qquad (23.1)$$

где n — число складываемых величин.

Если складываемые уровни одинаковы $(L_i = L)$, то $L\Sigma = L + 10 \lg n$.

Чувствительность слуха падает с понижением частоты звука. Для того чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию, вводят понятие *корректированного уровня* звукового давления (уровня звуковой мощности и т.п.). Коррекция заключается в том, что вводятся зависящие от частоты звука поправки к уровню соответствующей величины, эти поправки стандартизованы в международном масштабе. Наиболее употребительна коррекция *A*. Корректированный уровень звукового давления $L_A = L - \Delta L_A$ называется уровнем звука и измеряется в децибелах. Стандартное значение коррекции — ΔL_A приведено ниже:

Частоты Гц	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коррекция ΔL_A, дБ	80	42	26,3	16,1	8,6	3,2	0	–0,2	–1,0	1,1

Суммарный уровень звука со сложным спектральным составом определяется по уровням звука составляющих по формуле (23.1), куда вместо L_i подставляется L_{A_i}.

Для измерения шума применяют шумомеры разных видов, полосовые фильтры, анализаторы, измерительные микрофоны, самописцы, магнитофоны и другие приборы. В общем случае шумоизмерительный прибор состоит из измерительного микрофона, усилителя, частотных фильтров и измерительного прибора.

В зависимости от точности шумомеры по стандарту подразделяют на четыре класса: 0, 1, 2 и 3. Из них класс 0 применяется в качестве образцового средства измерений и градуируется на рабочих эталонах, 1 — для точных лабораторных и натурных измерений, 2 — для измерений нормальной точности, 3 — для ориентировочных измерений. Шумомеры классов 0 и 1 должны иметь стандартный диапазон частот 20 Гц…12,5 кГц, класса 2 — 20 Гц…8 кГц и класса 3 — 31,5 Гц…8 кГц.

В зависимости от типа металлорежущего оборудования, мощности его приводов, интенсивности и стабильности процесса резания уровни звука, создаваемые на расстоянии 1 м от ограждающих поверхностей, составляют 60…110 дБА. При типовых условиях эксплуатации станков верхний предел этого диапазона

90 дБА. Спектр шума станков обычно имеет максимум, расположенный в диапазоне 500…2000 Гц.

Основные источники шума металлорежущих станков можно подразделить на пять групп: 1) зубчатые передачи, входящие в приводы главного и вспомогательного движений, — сменные колеса и закрытые коробки передач; 2) гидравлические агрегаты; 3) электродвигатели; 4) вспомогательные устройства (например, направляющие трубы токарных автоматов); 5) процесс резания. Кроме того, источниками шума являются подшипники, ременные передачи, кулачковые механизмы, дисковые муфты, но они обычно мало влияют на общий уровень шума станка.

Методы снижения шума металлообрабатывающего оборудования можно условно подразделить на *активные* и *пассивные*. К *активным* относятся методы уменьшения переменных сил, возбуждающих упругие колебания в упругой системе станка (силы удара, силы инерции, электродинамические силы и т.п.). К *пассивным* относятся методы воздействия на элементы, передающие колебательную энергию от источника возмущения к излучателям шума, снижения шумоизлучающих возможностей излучателей, установки шумоизолирующих кожухов. Пассивными методами можно устранить вредное воздействие шума на обслуживающий персонал, но не всегда можно уменьшить вредное влияние колебаний на долговечность и точность самого станка.

Рациональный выбор методов снижения шума оборудования может быть сделан на основе предварительного выявления доминирующих источников шума, т.е. на оценке звуковой мощности, создаваемой каждым узлом или элементом конструкции. Проще всего определить звуковую мощность отдельных узлов можно при их последовательном включении. Это возможно в случае, когда они независимы функционально и акустически. Оценка доли звуковой мощности того или иного узла или отдельной поверхности станка в случае невозможности отдельного их включения проводится по результатам измерения значений виброскорости (корпусного шума) на колеблющейся поверхности с помощью пьезоакселерометра. Излучаемая звуковая мощность принимается пропорциональной произведению площади на квадрат осредненного по площади эффективного значения колебательной скорости. Если звуковая мощность какого-либо узла на 10 дБ (в 10 раз по мощности) меньше звуковой мощности всего станка, то снижение шумоизлучающей способности этого узла не даст ощутимого эффекта для всего станка.

Звукоизоляция является наиболее универсальным методом снижения шума различных источников в машинах и механизмах. Сущность явления звукоизоляции основана на отражении звуковых волн от конструкции. Снижение шума станков на 15 дБА и более обеспечивают применение специальных звукоизолирующих конструкций, рациональное проектирование и установка традиционных ограждающих конструкций. Наиболее перспективным направлением звукоизоляции в металлорежущих станках малых и средних размеров является создание шумоизолирующих кожухов, закрывающих весь станок. Это направление особенно эффективно в автоматизированных станках, где процесс резания ведется без вмешательства оператора. Капсулирование станков находит все большее применение в мировом станкостроении.

Для звукоизоляции механизмов станков и снижения шума при резании могут применяться одно- и двухстенные звукоизолирующие ограждения. Несущие стенки ограждений выполняются из тонкого (1,5…3 мм) стального или дюралюминиевого листа, пластмассы или других материалов. Величина звукоизоляции растет при облицовке внутренних поверхностей ограждений звукопоглощающими материалами, устройстве перфорированной стенки, использовании двустенных конструкций и слоеных панелей.

23.6. Исследование динамических характеристик станков

Точность обработки на станках определяется помимо геометрических и кинематических погрешностей еще и статическими и динамическими усилиями, которые деформируют все расположенные в силовом потоке детали станка: корпус, станину, каретки, шпиндели и т.д.

Если необходимую статическую жесткость станка на стадии проектирования можно обеспечить с помощью использования современных методов расчета, то динамическая жесткость несущей системы зависит от многих изменяющихся факторов, которые очень трудно учесть при конструировании. Особенно ненадежны данные о демпфирующих свойствах и жесткости подвижных и неподвижных стыков, поэтому для точного описания поведения станка при действии динамических усилий для оценки его качества, принятия мер по его модернизации необходимы экспериментальные исследования.

Динамическая система станка представляет собой многомассовую систему. В некоторых случаях динамические характеристики станка можно приближенно описать с помощью совокупности одномассовых моделей. На рис. 23.16 показана одномассовая модель, описывающая колебания шлифовального круга плоскошлифовального станка. Уравнение движения в вертикальном направлении приведенной массы m шлифовального круга, подвешенного на пружине с приведенной жесткостью $\boldsymbol{c}$ при наличии демпфера с приведенным коэффициентом демпфирования h, имеет вид

$$m\ddot{y} + h\dot{y} + cy = F_{\text{P}}(t) + F(t),$$

где $m\ddot{y}$ — сила инерции; $h\dot{y}$ — демпфирующее усилие; cy — сила упругого сопротивления; $F_{\text{P}}(t)$ — усилия резания; $F(t)$ — внешние силы, например, колебание фундамента, силы дисбаланса шлифовального круга.

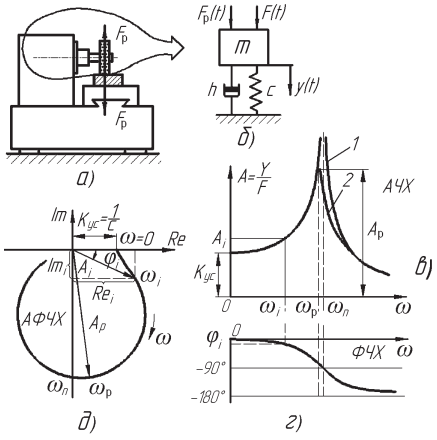


Рис. 23.16. Основные динамические характеристики для одномассовой системы:
а — плоскошлифовальный станок; *б* — одномассовая модель шпиндельного узла; *в* — амплитудно-частотная характеристика (АЧХ); *г* — фазочастотная характеристика (ФЧХ); *д* — амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ); *1* — АЧХ недемпфированной системы; *2* — АЧХ демпфированной системы

Из дифференциального уравнения движения может быть получена *передаточная функция*, описывающая динамическую характеристику станка в виде частотной характеристики податливости:

$$W(\omega)=\frac{y(\omega)}{F_{\text{р}}(\omega)+F(\omega)}=\frac{1}{-\omega^2 m+j\omega h+c}=\frac{1/c}{-\frac{m}{c}\omega^2+\frac{h}{c}j\omega+1}=\frac{K_{yc}}{-T^2\omega^2+2\xi Tj\omega+1},$$

где j — мнимая единица; ω — текущая круговая частота; $1/c=K_{\text{у.с}}$ — статическая податливость упругой системы (при $\omega=0$); $\sqrt{c/m}=1/T=\omega_n$ — собственная круговая частота недемпфированной системы (сдвиг фазы на 90° между усилием и смещением); $h/c=2\xi T$ — величина, имеющая размерность времени; ξ — относительный коэффициент демпфирования (или постоянная затухания):

$$\xi=\frac{h}{2m\omega_n}=\frac{h}{2\sqrt{mc}}.$$

Для одномассовой системы эта частотная характеристика полностью описывается тремя параметрами: статической жесткостью c, собственной круговой частотой ω_n и относительным коэффициентом демпфирования ξ. Частота возбуждения оказывает влияние не только на величину податливости (рис. 23.16, *в*), но и на запаздывание по времени между вынужденным смещением и действием усилия (рис. 23.16, *г*). Часто пользуются годографом податливости (рис. 23.16, *д*), объединяющим амплитудную и фазовую характеристики. Расстояние точки годографа от начала координат является величиной податливости $A(\omega)$, а поворот радиуса-вектора относительно положительной части реальной оси Re характеризует фазу $\varphi(\omega)$. Реальная $\text{Re}(\omega)$ и мнимая $\text{Jm}(\omega)$ части передаточной функции связаны с амплитудой податливости $A(\omega)$ и фазой $\varphi(\omega)$ соотношениями

$$A(\omega)=\sqrt{\text{Re}^2(\omega)+\text{Jm}^2(\omega)};\quad \varphi(\omega)=\text{arctg}\frac{\text{Re}(\omega)}{\text{Jm}(\omega)}.$$

Физическая интерпретация частотной характеристики заключается в том, что синусоидальная сила (воздействие на входе) при частоте ω приводит к возникновению синусоидального перемещения (реакция на выходе) с той же самой частотой. Амплитуда не выходе умножается на $A(\omega)=|W(\omega)|$, а фаза между выходом и входом сдвинута на $\varphi(\omega)$ (рис. 23.17, *а*).

Поскольку мы ограничиваемся рассмотрением только линейных систем, любой входной или выходной спектр может быть представлен в виде суммы синусоид. Частотные характеристики описывают динамические свойства систем независимо от типа сигналов, используемых при испытаниях, поэтому концепция частотных характеристик одинаково применима к гармоническому, импульсному и случайному возбуждениям (рис. 23.17, *б*).

Движение может быть описано в терминах перемещения, скорости и ускорения. Соответствующие частотные характеристики можно назвать характеристиками «податливости», «подвижности» и «ускоряемости» (рис. 23.18). В общем случае термин «измерение подвижности» используется для обозначения механической частотной характеристики любого вида.

При моделировании наиболее часто учитываются частотные характеристики

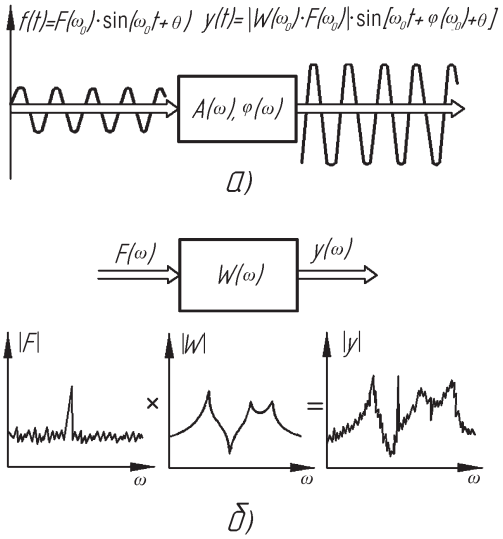


Рис. 23.17. Физическая интерпретация частотной характеристики:
а — при синусоидальном воздействии; *б* — при случайном воздействии

податливости. При измерениях обычно определяются частотные характеристики ускоряемости, так как наиболее удобным датчиком для измерения движения является акселерометр. Податливость, подвижность и ускоряемость математически связаны друг с другом. Результаты измерения одной из соответствующих частотных характеристик могут быть использованы для расчета другой.

Кроме собственной круговой частоты недемпфированной одномассовой системы теоретически различают собственную круговую частоту демпфированной системы $\omega_{дп} = \omega_n\sqrt{1-\xi^2}$ (с такой частотой затухает свободно колеблющаяся система) и резонансную круговую частоту демпфированной системы $\omega_р = \omega_n\sqrt{1-2\xi^2}$ (при такой частоте реальная система при гармоническом возбуждении обладает максимальной динамической податливостью). При

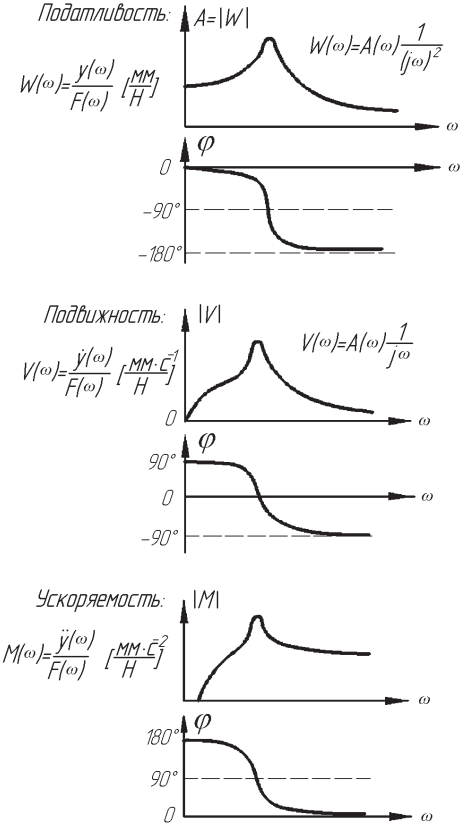


Рис. 23.18. Частотные характеристики податливости, подвижности, ускоряемости

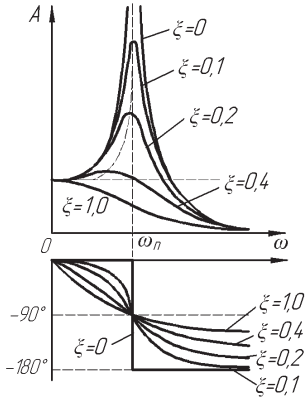


Рис. 23.19. Амплитудные и фазовые частотные характеристики одномассовой системы при различном относительном коэффициенте демпфирования

исследовании станков эти частоты раздельно можно не определять, поскольку при малых затуханиях ($\xi \le 0{,}1$) ω_n, $\omega_{дп}$ и $\omega_р$ практически совпадают.

Круговая частота ω и частота колебаний f, Гц, связаны соотношением $\omega = 2\pi f$.

Качественная оценка влияния относительного коэффициента демпфирования на величину и фазу податливости одномассовой системы показана на рис. 23.19. Для незатухающей системы при собственной частоте ω наблюдается бесконечная амплитуда, в то время как фаза изменяется скачкообразно от 0 до –180°. Для реальной системы с не равным 0 демпфированием коэффициент передачи на резонансной частоте остается конечным. С увеличением относительного коэффициента демпфирования резонансная полоса увеличивается, а фазовый переход от 0 до –180° проходит более полого. Для апериодического предельного случая, когда относительный коэффициент демпфирования $\xi = 1$, резонансных пиков податливости не наблюдается.

Определить величину относительного коэффициента демпфирования по соотношению статической податливости $K_{у.с}$ и максимальной динамической податливости $A_р$ из экспериментально полученных частотных характеристик можно только при явно выраженных свойствах одномассовой системы, т.е. в том случае, когда наблюдается только один резонансный пик податливости (см. рис. 23.16), по формуле

$$\xi = \frac{K_{у.с}}{2A_р}.$$

Относительный коэффициент демпфирования одномассовой системы можно определить также по кривой затухания переходного процесса. Фиксируют затухающие колебания системы при ступенчатом или импульсном силовом воздействии, либо возбуждают систему гармонической силой до нужной резонансной частоты и регистрируют переходный процесс после выключения возбуждения (рис. 23.20):

$$\xi = \frac{\lambda}{2\pi}; \quad \lambda = \ln\frac{a_n}{a_{n+1}},$$

где λ — логарифмический декремент затухания, т.е. величина, обратная числу колебаний, по истечении которых амплитуда убывает в e раз. Например, если $\lambda = 0{,}01$, то амплитуда уменьшится в e раз после 100 колебаний. Декремент затухания характеризует число периодов T, в течение которых происходит затухание колебаний. Полное время затухания определяется отношением T/λ.

Иногда вместо декремента затухания пользуются понятием добротности колебательной системы Q, с которой декремент затухания связан соотношением

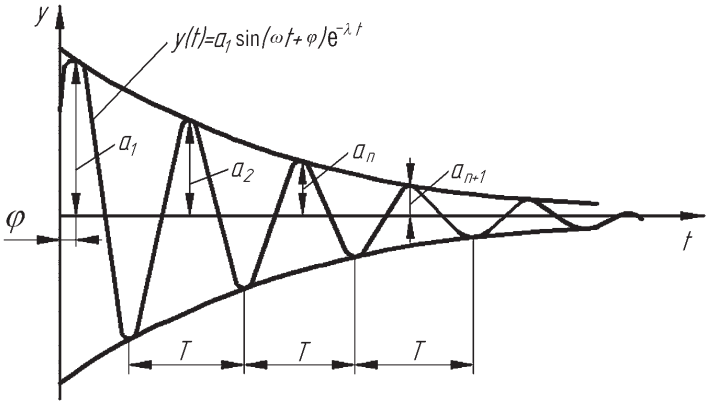


Рис. 23.20. Кривая переходного процесса одномассовой системы

$$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{Q^2 - 1/4}},$$

а при больших добротностях $\lambda \approx \pi/Q$.

Если колебательная система является многомассовой, т.е. имеет несколько резонансных частот, то демпфирование системы можно определить с помощью «метода $\sqrt{2}$» (рис. 23.21). Относительный коэффициент демпфирования находится из соотношения

$$\xi = \frac{\Delta f}{2 f_{\text{р}}},$$

где $\Delta f = f_2 - f_1$.

Этот метод можно использовать в общем при любом превышении пика частотной характеристики податливости над статической податливостью. Нужно только установить, не влияют ли на податливость исследуемой точки резонанса дополнительно явно выраженные резонансные эффекты соседних резонансных частот. Необходимый частотный интервал Δf соседних точек резонанса уменьшается с уменьшением постоянной затухания, т.е. с уменьшением ширины резонансных пиков.

Для получения динамических характеристик необходимо возбуждать исследуемую конструкцию с помощью замеряемой динамической силы.

Наиболее часто используют гармоническое возбуждение с дискретными частотами или непрерывной разверткой частоты, возбуждение в виде случайного сигнала и возбуждение в виде импульсного возбуждения (рис. 23.22). Гармоническое возбуждение может быть осуществлено с помощью двух дисбалансных дисков, вращающихся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями. При этом

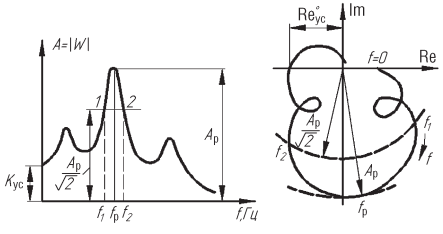


Рис. 23.21. Определение демпфирования для многомассовых систем

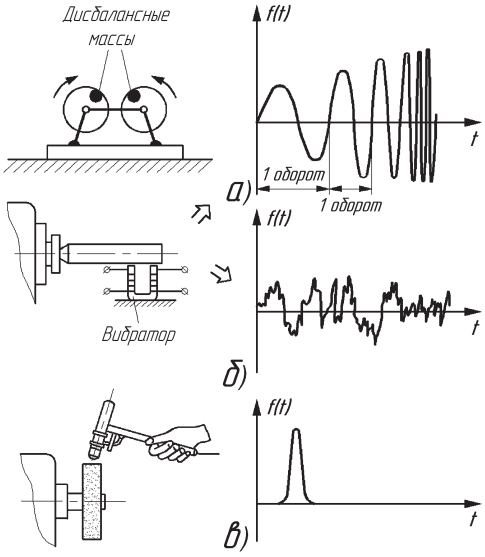


Рис. 23.22. Сигналы динамического возбуждения при исследовании станков: *а* — синусоидальный сигнал с разверткой частоты; *б* — случайный сигнал; *в* — импульсное воздействие

горизонтальные составляющие дисбалансной силы уравновешивают друг друга, а вертикальные — складываются. Частота возбуждения усилия определяется частотой вращения дисков. Недостатком такого возбудителя является то, что усилие имеет квадратную зависимость от частоты и изменяется трудно (за счет изменения масс или радиального положения эксцентриковых масс).

Гармоническое, или случайное, возбуждение может быть обеспечено с помощью электромагнитного бесконтактного вибратора (рис. 23.23). Вибратор располагают на станке так, чтобы развиваемая им сила совпадала с силой резания (на рис. 23.23 показано использование вибратора для испытания токарного станка). Оправка *5* выполняет роль якоря и закрепляется в шпинделе токарного станка. Сердечник *2* выполнен из трансформаторной стали и с помощью щек *3* и болтов с гайками *4* крепится в корпусе *1*, который закреплен в резцедержателе станка под углом 30° к вертикали (так действует радиальная сила резания). На сердечнике *2* размещены обмотки подмагничивания H_0, возбуждения H_1 и измерительная H_2. Необходимый зазор между якорем и оправкой обеспечивается болтами *4*. Датчик относительных колебаний *6* служит для измерения величины смещения между корпусом *1* и оправкой *5*.

При контактном возбуждении можно использовать пьезоэлектрический вибратор (рис. 23.24). Переменное усилие создается пьезокерамическими кольцами *3*, на которые подается электрическое напряжение через разъем *7*. Из-за этого напряжения изменяется толщина пьезоэлемента. Изменение линейного размера столбика пьезоэлементов через оправку *4*, измерительные пьезоэлементы *6*, наконечник *5* передается на деталь станка, на которую требуется подать силовое воздействие. Величина статического усилия контролируется с помощью тензодатчиков *8*, наклеенных на деформирующуюся часть основания *1*. Токонепроводящий корпус *2* защищает исследователя от высокого напряжения, подаваемого на пьезоэлементы.

Для создания импульсного силового воздействия применяются динамометрические молотки, устройство одного из которых представлено на рис. 23.25. Подаваемое на исследуемый объект усилие измеряется с помощью пьезоэлектрического динамометра *4*. Дополнительной массой *6* и материалом ударной части *1* можно менять продолжительность импульса, а значит, и частотный диапазон спектра возбуждения (рис. 23.26).

При случайном и импульсном возбуждении частотные характеристики мо-

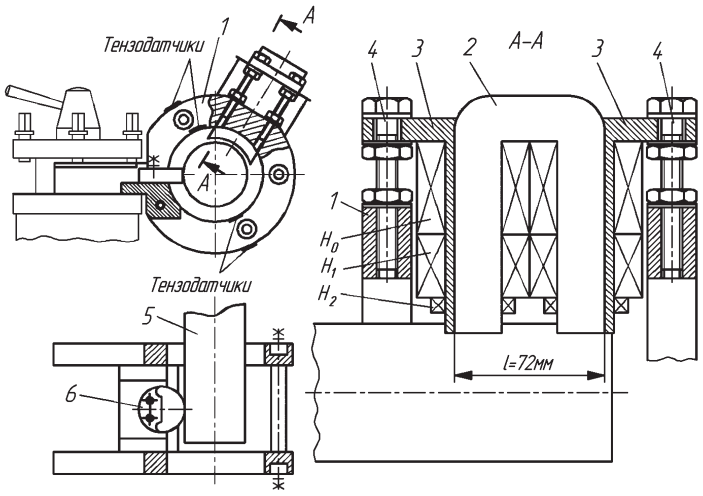


Рис. 23.23. Электромагнитный бесконтактный вибратор

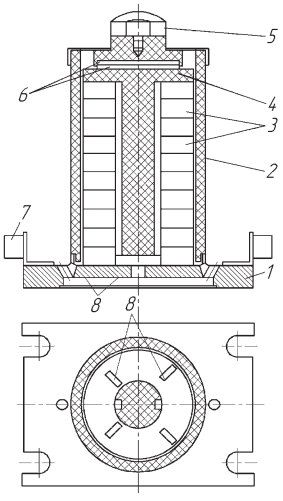


Рис. 23.24. Пьезоэлектрический контактный вибратор

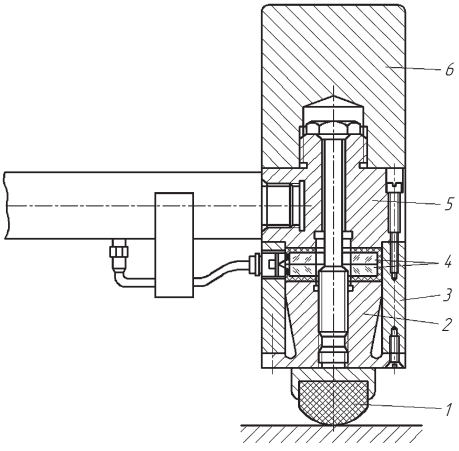


Рис. 23.25. Динамометрический молоток для создания импульсного силового воздействия:
1 — ударная часть; *2* — мембранный передающий элемент; *3* — корпус; *4* — пьезоэлектрический динамометр; *5* — масса молотка; *6* — дополнительная масса

гут быть получены с помощью спектрального анализа сложных сигналов, основу которого составляет быстрое преобразование Фурье. Принципы спектрального анализа рассмотрим на примере двухканального анализатора, выполняющего это преобразование (рис. 23.27). Анализатор можно применять в качестве «черного ящика», измеряющего сигналы возбуждения и реакций и определяющего частотные характеристики на основе этих измерений.

Поступающие на входы анализатора аналоговые сигналы фильтруются, отбираются и преобразуются с помощью аналого-цифрового преобразователя в цифровую форму для получения серий цифровых данных, называемых реализациями (рис. 23.28, *а*, *б*). Эти реализации представляют временну́ю историю

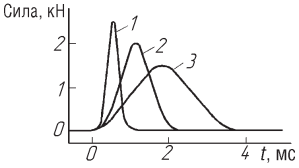


Рис. 23.26. Влияние на импульсное усилие различных материалов ударной части:
1 — сталь; *2* — пластмасса; *3* — резина

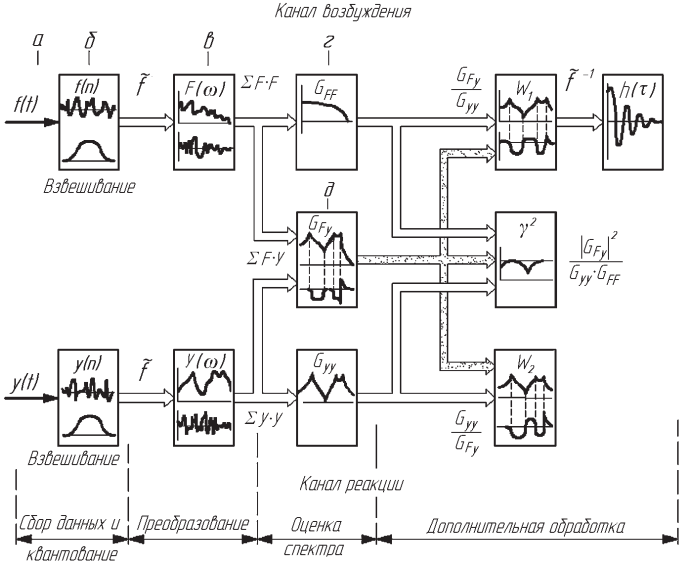


Рис. 23.27. Блок-схема двухканального спектроанализатора

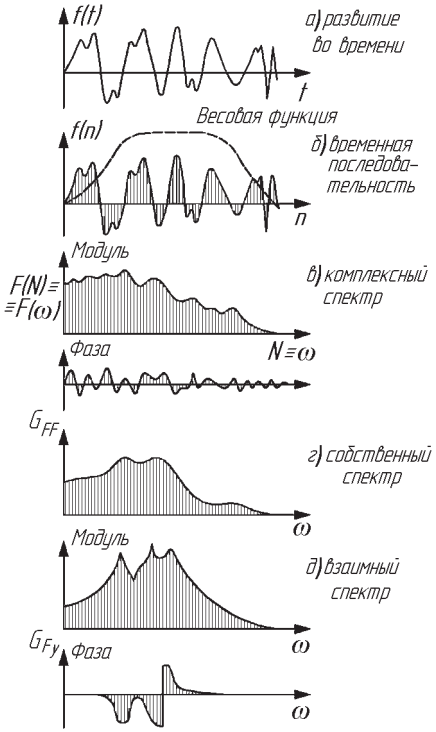


Рис. 23.28. Этапы преобразования сигнала и спектров в спектроанализаторе (см. рис. 23.27)

сигналов на протяжении соответствующих временны́х интервалов. Скорость выборки и продолжительность реализаций определяют частотный диапазон и разрешающую способность при анализе.

Зарегистрированные реализации могут быть умножены на весовую функцию. Тем самым проводится сужение данных в начале и конце реализаций, что делает их более удобными для блочного анализа.

Взвешенные реализации преобразуются в частотную область в виде комплексных спектров с помощью дискретного преобразования Фурье (рис. 23.28, *в*). Этот процесс обратимый — в результате обратного преобразования получаются исходные временны́е последовательности. Для определения спектральной плотности должен быть использован какой-либо метод усреднения, в результате устраняется шум и улучшается степень статистической достоверности.

Собственные спектры определяются путем умножения комплексных спектров на соответствующие комплексно сопряженные спектры (с противоположным знаком фазы) и затем усреднения ряда независи-

мых произведений (рис. 23.28, *г*). При умножении комплексно сопряженного спектра на другой комплексный спектр получается взаимный спектр (рис. 23.28, *д*). Взаимный спектр — это комплексная функция, фаза которой показывает сдвиг фаз между выходом и входом и модуль которой представляет когерентное произведение мощности на входе и выходе. Собственные спектры силы и реакции совместно с взаимным спектром силы и реакции представляют собой именно те функции, которые необходимы для оценки частотной характеристики и функции когерентности.

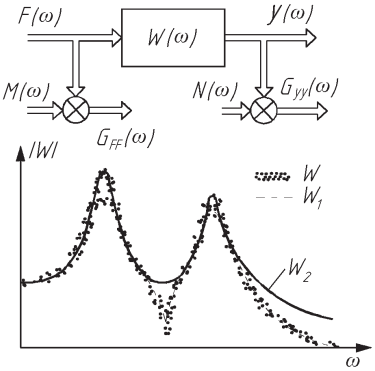


Рис. 23.29. Выбор оптимальной оценки частотной характеристики: $M(\omega)$ — шум на входе; $N(\omega)$ — шум на выходе

Оценочная функция W_1, равная отношению взаимного спектра реакции и силы к собственному спектру силы, используется для минимизации шума на выходе системы; случайный шум на выходе удаляется в процессе усреднения взаимного спектра. При увеличении числа усреднений W_1 стремится к оптимальной (истинной) частотной характеристике $W(\omega)$ (рис. 23.29).

Оценочная функция W_2, равная $G_{yy}(\omega)/G_{yF}(\omega)$, используется для минимизации влияния шума на входе, поскольку он удаляется из взаимного спектра в процессе усреднения. При увеличении числа циклов усреднения W_2 стремится к истинной частотной характеристике $W(\omega)$. При случайном возбуждении и исследовании резонансов лучшей оценкой частотной характеристики является W_2, так как она компенсирует шум на входе и менее чувствительна к рассеянию. При исследовании антирезонансных зон лучшей оценкой частотной характеристики считается W_1, так как главным в этом случае является ее малая чувствительность к шуму на выходе. Когда шум имеется на выходе и на входе, функции W_1 и W_2 можно считать пределами доверительного интервала для истинной частотной характеристики $W(\omega)$, однако это не относится к нелинейным системам и к случаям с когерентными шумами на входе и выходе.

Функция когерентности дает средство для оценки степени линейности связи входных и выходных сигналов:

$$\gamma^2(\omega) = \frac{\left|G_{yF}(\omega)\right|^2}{G_{yy}(\omega)\, G_{FF}(\omega)},$$

где $0 \le \gamma^2(\omega) \le 1$.

Граничными значениями функции когерентности являются 1 при отсутствии шума и 0 при наличии чистых шумов. В качестве интерпретации функции когерентности можно сказать, что для каждой частоты она указывает степень линейной зависимости между сигналами на входе и выходе системы (рис. 23.30). Функция когерентности аналогична квадрату коэффициента корреляции, используемому в статистике. При динамических исследованиях это важное свойство функции когерентности используется для выявления целого ряда возможных ошибок.

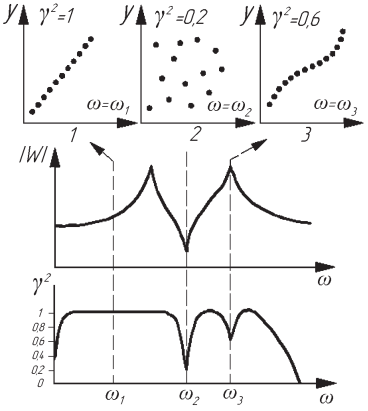


Рис. 23.30. Оценка линейности связи входного и выходного сигналов по функции когерентности:
1 — линейная зависимость; *2* — слабая зависимость вследствие наличия шума на выходе; *3* — слабая зависимость вследствие нелинейных свойств при резонансе

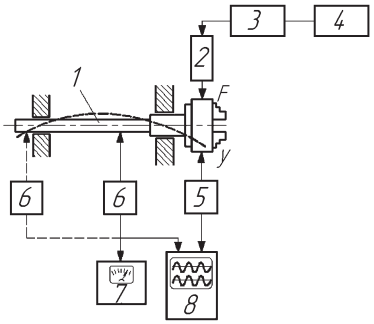


Рис. 23.31. Схема измерительной системы для определения формы колебаний:
1 — шпиндель; *2* — вибратор; *3* — усилитель; *4* — звуковой генератор; *5* — датчик колебаний № 1; *6* — датчик колебаний № 2; *7* — измеритель амплитуды (вольтметр); *8* — двухлучевой осциллограф

По полученным тем или иным способом частотным характеристикам можно оценить виброустойчивость динамической системы станка. Например, при лезвийной обработке предельная ширина срезаемого слоя

$$b_{\text{пр}} = \frac{1}{K\left|\text{Re}^0_{\text{у.с}}\right|},$$

где K — коэффициент резания (удельная сила резания); $\text{Re}^0_{\text{у.с}}$ — отрезок, отсекаемый годографом упругой системы станка на отрицательной части вещественной оси (см. рис. 23.21). Чем больше отрезок $\text{Re}^0_{\text{у.с}}$, тем меньше предельная ширина срезаемого слоя и ниже виброустойчивость динамической системы станка. Приведенная формула справедлива лишь в тех случаях, когда нет влияния следов вибраций от предыдущего прохода. Обработка по следам вибраций снижает предельное значение ширины срезаемого слоя не менее чем в 2 раза.

При решении задач, связанных с улучшением динамического качества станков, стремятся к уменьшению динамической податливости на резонансных частотах. Для обнаружения узлов станка, которые в значительной степени способствуют резонансным явлениям, проводят измерения форм колебаний. На рис. 23.31 показана схема измерительной системы для определения формы колебаний шпинделя токарного станка. Шпиндель возбуждается на интересующей нас резонансной частоте синусоидальным усилием.

С помощью датчика № 2 (это может быть датчик перемещения, скорости или ускорения) в различных точках шпинделя измеряются амплитуды колебаний. Направление колебаний определяется путем сравнения фаз сигнала датчика № 2 с сигналом неподвижного датчика № 1. Положение по фазе интересует только в качественном отношении — синфазности или противофазности колебаний. Таким образом, перестановкой датчика № 2 можно определить основные вибри-

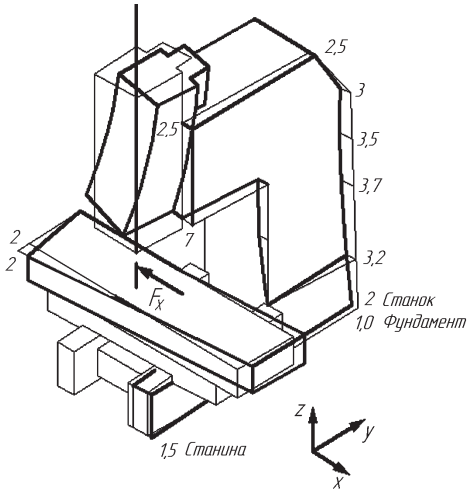


Рис. 23.32. Форма колебаний вертикально-фрезерного станка по оси X на частоте 105 Гц при $F_X = 500$ Н (на рисунке показаны смещения в мкм)

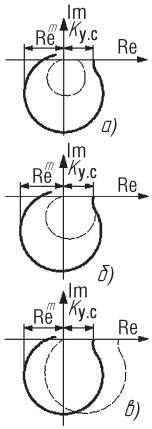


Рис. 23.33. Меры по повышению виброустойчивости динамической системы станка: *а* — повышение статической жесткости (уменьшение $K_{y.c}$); *б* — повышение демпфирования; *в* — смещение годографа за счет податливого элемента с высокой собственной частотой и большим демпфированием в силовом потоке несущей системы станка

рующие узлы станка, их динамически слабые места и принимать меры по улучшению динамических характеристик станка. На рис. 23.32 показана форма колебаний вертикально-фрезерного станка при возбуждении переменным усилием в направлении оси X на резонансной частоте 105 Гц. При этом смещению в зоне резания способствуют в основном изгиб вертикальной части стойки и скручивание горизонтальной части.

На рис. 23.33 показано, какое влияние оказывают на годограф упругой системы станка некоторые мероприятия по повышению виброустойчивости. Целью любых мер является уменьшение максимальной отрицательной части годографа по реальной оси Re^m, которая так же как $Re^0_{y.c}$, определяет склонность станка к вибрациям.

23.7. Основы эксплуатации, ремонт и модернизация оборудования

23.7.1. Требования и правила эксплуатации и обслуживания оборудования. Установка станков (фундамент, виброизоляция)

Эксплуатация станков представляет собой систему мероприятий, включающую в себя консервацию и упаковку, транспортирование и монтаж, настройку и наладку оборудования, контроль геометрической и технологической точности, уход и обслуживание.

Консервация и упаковка проводятся для предохранения станков, приспособлений, принадлежностей и инструмента от механических, физико-химических воздействий при транспортировании и хранении. Перед упаковкой станков проводится консервация всех металлических поверхностей (обработанных и

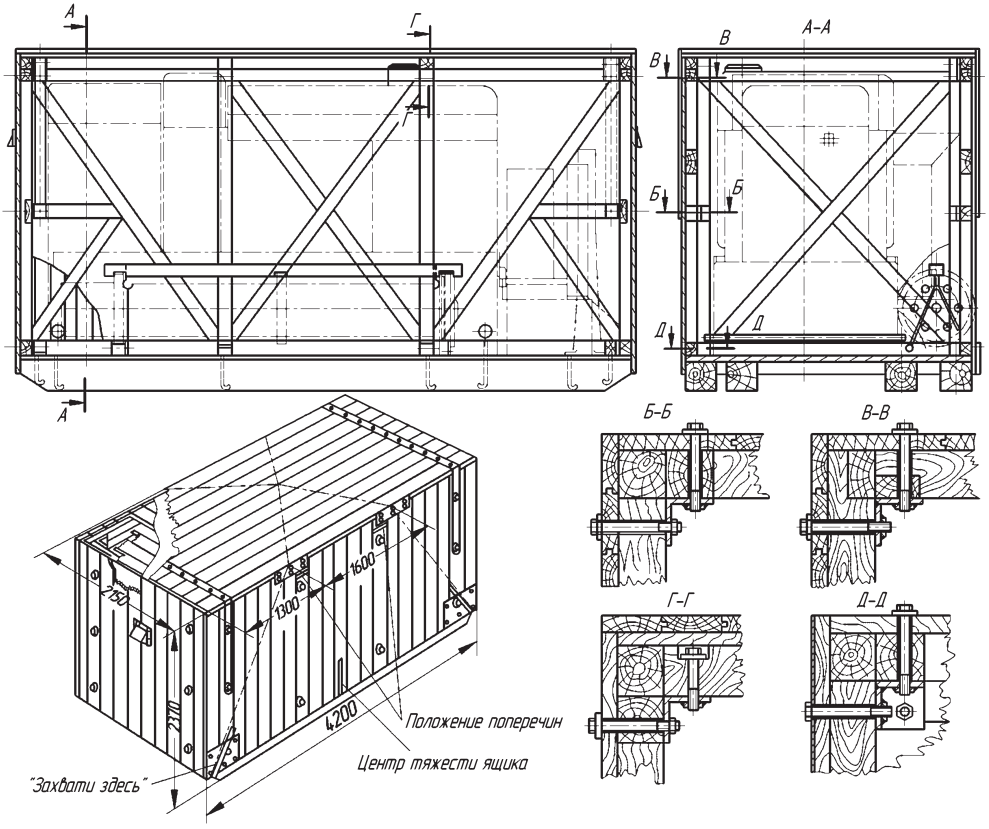


Рис. 23.34. Упаковочный ящик токарного шестишпиндельного станка мод. 1240-6

необработанных) за исключением поверхностей, имеющих лакокрасочные покрытия. Обезжиренные поверхности сушат, затем наносят кистью или пульверизатором ингибированную смазку НГ-203, НГ-204 или НГ-204у. Толщина слоя смазки должна быть не менее 0,5 мм.

Упаковывается станок во внутреннюю и внешнюю тару. В качестве внутренней тары применяются чехлы из полимерных пленок, в качестве внешней тары — деревянные ящики. Чехлы должны быть герметичными, а для предотвращения конденсации влаги внутрь чехла необходимо закладывать влагопоглощающее вещество — силикагель, которое перед закладкой тщательно просушивается при температуре 150…170 °С.

Конструкция упаковочных ящиков должна быть такой, чтобы обеспечить жесткость тары, сохранность станков при транспортировании, экономию лесоматериалов и достаточно низкую стоимость изготовления. На рис. 23.34 для примера приведена конструкция ящика для упаковки шестишпиндельного токарного пруткового автомата мод. 1240-6. Жесткость ящика обеспечивается конструкцией боковых и торцовых щитов ящика, брусья у которых соединены вертикально расположенными досками обшивки, и обязательно есть диагональные связи в каркасе. Верхний щит изготавливают из двух слоев досок с прокладд-

кой между ними водонепроницаемой бумаги, что препятствует проникновению воды внутрь ящика.

Центр тяжести упакованного ящика, места расположения верхних поперечин и места захвата ящика стропами должны быть помечены четкими линиями на каждой боковой стороне ящика (см. рис. 23.34).

Транспортирование станков необходимо осуществлять строго по инструкции, указанной в руководстве по эксплуатации. Перемещать станки по цеху (при отсутствии крана) можно лишь волоком на листе или на специальной тележке. Тяжелые станки для удобства ремонта и обслуживания располагают в зоне действия подъемно-транспортных средств.

Установка и монтаж станков. Станки нормальной точности легкие и средние устанавливают на общее бетонное полотно цеха с тщательной выверкой положения уровнями и регулированием с помощью клиньев. Надежное крепление осуществляется посредством фундаментных болтов и заливкой основания станка бетоном.

При высокой жесткости несущей системы и незначительных динамических нагрузках станки устанавливают на виброизолирующие опоры или прокладки (коврики). Существует большое разнообразие виброизолирующих опор и ковриков, различающихся материалом упругого элемента, конструктивными признаками и типоразмерами. На рис. 23.35 показана конструкция наиболее распространенной резинометаллической опоры с равночастотной характеристикой. Принцип работы основан на непрерывном прогрессивном уменьшении свободной поверхности резины без изменения площади нагруженной поверхности. При малых нагрузках площадь свободной поверхности равна сумме площадей наружной цилиндрической поверхности, внутренней и наружной цилиндрической поверхностей в пазах, внутренней цилиндрической поверхности резинового элемента; при этом жесткость опоры минимальна. При увеличении нагрузки резина выпучивается по всем свободным поверхностям, постепенно заполняя зазоры. Площадь свободной поверхности уменьшается и соответственно увеличивается жесткость опоры. Выбором Δ_1 и Δ_2 можно изменять характер зависимости жесткости от сжимающей нагрузки и, в частности, обеспечить в некотором диапазоне нагрузки постоянство собственной частоты опоры. Для увеличения жесткости в горизонтальных направлениях к нижнему основанию прикреплено кольцевое ребро жесткости *5*. Жесткость опоры может быть изменена также за счет вкладыша *10*, который уменьшает площадь свободной поверхности в промежутках Δ_1 и Δ_2, в результате чего увеличивается жесткость опоры в направлении, перпендикулярном оси вкладыша, на 30…50%; в направлении оси вкладыша — в 2…2,5 раза. Регулятор высоты установки имеет гофрированную пружину *6*, с которой скреплена гайка *7*, имеющая опорную поверхность для установки станка. Наличие гофров и их форма позволяет уменьшить силу для деформирования пружины и увеличить предел регулирования высоты. Для повышения демпфирующих свойств в упругий элемент введен демпфер *4* жидкостного трения, представляющий собой пластину, соединенную с верхним основанием опоры, на которой имеются штырьки в виде гребенки, погруженные в вязкую жидкость, заполняющую полость в толще упругого элемента опоры. Это обеспечивает демпфирование колебаний в разных направлениях.

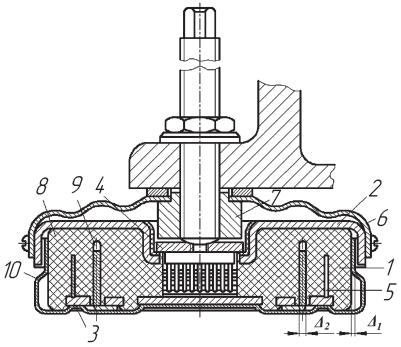


Рис. 23.35. Конструкция равночастотной резинометаллической опоры:
1 — резиновый элемент; *2* — верхняя крышка; *3* — основание; *4* — демпфер жидкостного трения; *5* — ребро жесткости; *6* — пружина регулятора высоты; *7* — гайка; *8* — фрикционные кольца; *9* — паз; *10* — вкладыш

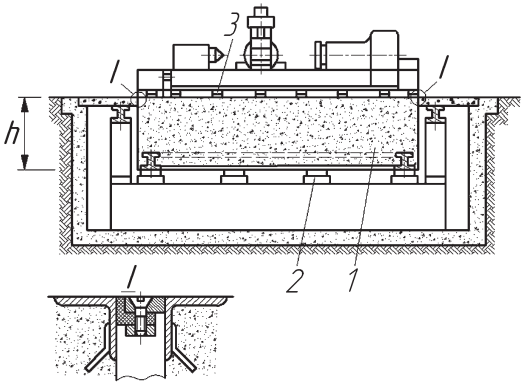


Рис. 23.36. Установка тяжелого высокоточного зубофрезерного станка на виброизолирующий фундамент:
1 — бетонный блок; *2* — упругий элемент; *3* — башмак

Точные и тяжелые станки устанавливают на индивидуальные фундаменты (рис. 23.36). Таким же способом на индивидуальные виброизолирующие фундаменты ставятся станки с большими динамическими нагрузками и повышенной вибрацией при работе, с тем чтобы изолировать станок от другого оборудования и воспрепятствовать передаче колебаний через грунт. Жесткость системы станина—фундамент определяется высотой фундамента и жесткостью станины, жесткостью клиновых и резьбовых опорных элементов, качеством стыков. Из-за неравномерной осадки фундамента и необходимости регулирования станки устанавливают на регулируемые башмаки (рис. 23.37, *а*) и крепят анкерными болтами. Для лучшего прилегания опорных поверхностей башмака и станины может быть предусмотрена самоустанавливающаяся шайба (рис. 23.37, *б*).

Фундаменты станков особо высокой точности и мастер-станков кроме высокой жесткости должны обладать высокими виброизолирующими свойствами. В большинстве случаев может быть рекомендован упругоопертый бетонный блок (см. рис. 23.36), который обеспечивает необходимую жесткость несущей системы станка и гашение вынужденных колебаний, вызываемых динамическими нагрузками в станке. Считается, что уменьшение амплитуды колебаний примерно пропорционально увеличению массы.

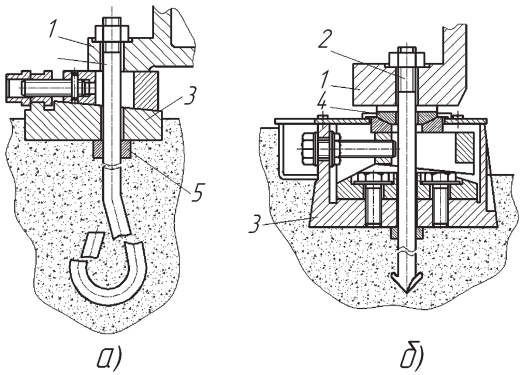


Рис. 23.37. Конструкция башмаков для установки тяжелых станков на фундамент:
1 — станина; *2* — анкерный болт; *3* — башмак; *4* — самоустанавливающаяся шайба; *5* — шайба

Упругими элементами являются стальные пружины или резиновые коврики. Применение пружин обеспечивает надежную виброизоляцию, так как нижний предел частот собственных колебаний станков при этом доводится до 2,5…3 Гц, однако стоимость таких фундаментов весьма высока.

Наладка и настройка станков. Выполняются также в строгом соответствии с руководством по эксплуатации.

Наладка — это совокупность операций по подготовке и регулированию станка, которые включают в себя установку и регулирование приспособлений, инструмента, а также настройку кинематических цепей и ряд других работ, необходимых для обработки деталей.

Настройка — регулирование параметров машины в связи с изменением режима работы в период эксплуатации. Со временем настройка станка частично нарушается, и периодически требуется ее восстановление.

Контроль геометрической и технологической точности проводят в соответствии с методиками, описанными в п. 23.3 и 23.4.

Уход и обслуживание включают в себя чистку и смазку, осмотр и контроль состояния механизмов и деталей, уход за гидросистемой, системами смазывания и подачи СОЖ, регулирование и устранение мелких неисправностей.

Уход за гидросистемой предусматривает контроль температуры масла, которая обычно не должна превышать +50 °С. Первую замену масла в гидросистеме, как правило, проводят через 0,5…1 мес. работы, чтобы удалить продукты притирки механизмов. В дальнейшем масло заменяют через 4…6 мес. по результатам анализа смазочного материала.

Уход за электрооборудованием включает в себя ежемесячную очистку аппаратов от пыли и грязи, подтягивание винтовых соединений, контроль плавности перемещений и надежности возврата подвижных частей электроаппаратов в исходное положение. Периодически смазывают приводы аппаратов тонким слоем смазки, не допуская ее попадания на контакты. Особенности эксплуатации тех или иных станков обязательно указываются в инструкциях по их использованию. Соблюдение их обеспечит длительную бесперебойную работу оборудования.

23.7.2. Организация ремонта оборудования, категории ремонтной сложности

Постепенный износ оборудования в процессе эксплуатации проявляется в снижении точности обработки, повышенном шуме, в более частом возникновении неполадок и отказов. Поддержать станки в работоспособном состоянии и восстановить утраченные в процессе эксплуатации технические показатели можно только ремонтом.

Ремонт по потребности (т.е. ремонт при остановках, обусловленных поломкой какой-либо из деталей механизмов) — отсталая форма ремонта. Ее недостатки: а) внезапность выхода оборудования из строя, приводящая к нарушению нормального хода производства и наносящая ему большой ущерб; б) оборудование доводится до чрезмерного износа, что приводит к удорожанию ремонта и снижению его качества.

На промышленных предприятиях целесообразно использовать систему планово-предупредительного ремонта. Сущность этой системы заключается

в том, что через определенное число отработанных часов каждого агрегата проводят профилактические осмотры и различные виды плановых ремонтов этого агрегата. Основной задачей системы является удлинение межремонтного срока службы оборудования, снижение расходов на его ремонт и повышение качества ремонта.

Существуют три разновидности планово-предупредительного ремонта.

1. *Метод послеосмотровых ремонтов* — планируются не ремонты, а лишь периодические осмотры. Если при очередном осмотре выясняется, что станок не проработает нормально до следующего осмотра, то назначают ремонт к определенному сроку. Это дает возможность подготовиться к ремонту, выполнить его быстрее и качественнее. Недостаток — ремонтные работы не планируются заранее, что может привести к перегрузке ремонтников в одни периоды и простоям в другие.

2. *Метод периодических ремонтов* — для каждого станка составляется план с указанием сроков и объема ремонтных работ. Допускается корректировка плана с учетом фактических результатов осмотров, что придает системе ремонтов гибкость, обеспечивая наиболее рентабельное использование технологического оборудования за срок его службы. Это наиболее распространенный вид планово-предупредительного ремонта.

3. *Метод принудительных ремонтов* — обязательный вывод оборудования в ремонт в установленные сроки. Ремонт проводится по заранее разработанной технологии с обязательной заменой или восстановлением всех намеченных деталей и узлов. Метод целесообразен только на участках с однотипным оборудованием и стабильным режимом работы (поточные линии, энергетическое оборудование).

Периодические осмотры. Они проводятся слесарями-ремонтниками согласно плану ремонта. При этом проверяется действие всех механизмов, проводится их регулирование, выявляется состояние и степень износа узлов. Осмотры проводят, как правило, в нерабочее время.

Периодический ремонт может быть мелким, средним и капитальным.

Мелкий ремонт — это минимальный по объему вид планового ремонта, при котором заменой или восстановлением небольшого числа изношенных деталей, срок службы которых равен межремонтному периоду или меньше его; регулированием механизмов обеспечивается нормальная эксплуатация станка до очередного планового ремонта. При мелком ремонте осуществляется очистка гидросистемы и смена масла.

Средний ремонт — это плановый ремонт, включающий в себя операции мелкого ремонта и дополнительные мероприятия по возвращению оборудованию предусмотренных ГОСТами или техническими условиями точности, мощности и производительности на срок до очередного среднего или капитального ремонта. При среднем ремонте заменяют изношенные детали, срок службы которых равен или меньше межремонтного периода или периода между двумя средними ремонтами. Обязательно проводится проверка на точность.

Капитальный ремонт — это наибольший по объему вид планового ремонта, при котором проводят полную разборку станка, ремонт базовых деталей (станин, кареток и т.д.), замену и восстановление всех изношенных деталей и узлов

в целях возвращения агрегату первоначальных точности, мощности и производительности. При капитальном ремонте, как правило, проводится модернизация оборудования.

В настоящее время намечается переход к двухвидовой системе ремонта, включающей в себя текущий и капитальный ремонты. Текущий ремонт заменяет мелкий и средний ремонты, а по объему приблизительно соответствует мелкому.

Период между двумя капитальными ремонтами (или от ввода в эксплуатацию до первого капитального ремонта) называется ремонтным циклом, а период времени между двумя очередными плановыми ремонтами — ремонтным периодом. Структура ремонтного цикла, т.е. порядок расположения и чередования ремонтов и осмотров, может быть разным в зависимости от культуры производства и состояния оборудования. Для легких и средних (массой до 10 т) металлорежущих станков рекомендуется следующая структура ремонтного цикла:

К—О—М—О—М—О—С—О—М—О—М—О—С—О—М—О—М—О—К,

где К — капитальный ремонт; С — средний ремонт; М — мелкий ремонт; О — осмотр.

Автоматические линии нуждаются в более частых профилактических осмотрах, поэтому их число в структуре ремонтного цикла удваивается. Для крупных станков, массой от 10 до 100 т, рекомендуются еще более частые профилактические воздействия, предупреждающие преждевременный выход оборудования из строя; число осмотров для них равно 27.

Трудоемкость и степень сложности ремонта станков, которые зависят от конструктивных (компоновка, кинематическая схема, устройство механизмов, масса и прочее) и технологических (точностные параметры, ремонтопригодность) особенностей, оценивается категорией сложности ремонта. Чем сложнее станок, тем выше категория сложности ремонта. За эталон принят токарно-винторезный станок мод. 16К20 с высотой центров 200 мм и межцентровым расстоянием 1000 мм. Ему присвоена 11-я категория сложности. Номер категории сложности ремонта равен числу единиц ремонтной сложности, которые характеризуют объем работ при капитальном ремонте. Одна единица ремонтной сложности для механической части станков составляет 35 ч, из которых 23 ч выделяется на слесарные работы, 10 ч — станочные работы и 2 ч — прочие (сварочные, малярные и т.п.). Единица ремонтной сложности электротехнического оборудования станков составляет 15 ч (11 ч — электрослесарные работы, 2 ч — станочные, 2 ч — прочие).

Износ деталей и его контроль. Срок службы станков в основном определяется износом наиболее ответственных деталей (направляющих, станин, стоек, салазок, ходовых винтов и др.), при котором происходит утрата механизмом первоначальных эксплуатационных качеств.

Изнашивание — это необратимый процесс изменения размеров деталей во время эксплуатации. При этом, как правило, изменяются форма, размеры и состояние рабочих поверхностей деталей. В зависимости от условий работы одни детали изнашиваются быстрее, другие медленнее. Различают следующие виды износа: механический, молекулярно-механический и коррозионно-механический.

Механический износ является результатом действия сил трения при скольжении одной детали по другой. Происходит истирание (срезание) поверхностного слоя металла у совместно работающих деталей. Механический износ часто усугубляется наличием абразивной пыли, твердых частиц стружки, продуктов износа. При этом трущиеся поверхности дополнительно разрушаются за счет резания и царапания.

Величина и характер износа деталей зависят от физико-механических свойств верхних слоев металла, условий работы сопрягаемых поверхностей, давления, относительной скорости перемещения, условий смазывания, степени шероховатости трущихся поверхностей и др.

Молекулярно-механический износ происходит из-за схватывания одной поверхности с другой. Происходит это при недостаточном смазывании и значительном удельном давлении, когда две поверхности сближаются настолько плотно, что начинают действовать молекулярные силы. Схватывание происходит также при высоких скоростях скольжения и высоком давлении, когда температура трущихся поверхностей высока.

Коррозия проявляется обычно у деталей станков, испытывающих непосредственное действие воды, воздуха, химических веществ, температуры. Непостоянство температуры воздуха в производственном помещении приводит к тому, что каждый раз при ее повышении содержащиеся в воздухе водяные пары, соприкасаясь с более холодными металлическими деталями, осаждаются на них в виде конденсата. Это вызывает коррозию металла, т. е. соединение металла с кислородом воздуха.

Об износе деталей станка можно судить по характеру их работы. Повышенный шум в зубчатых передачах — признак износа профиля зубьев. Износ шлицевых и шпоночных соединений проявляется в виде глухих и резких толчков каждый раз, когда изменяется направление вращения или прямолинейного движения. По шуму можно оценить и состояние узлов с подшипниками качения.

Для оценки износа поверхностей трения базовых деталей станков рекомендуется метод «искусственных баз». Этот метод заключается в том, что на изнашиваемые поверхности заранее наносят лунки определенной формы (рис. 23.38, *а*, *б*). На изменение режима трения они практически никакого влияния не оказывают в связи с малыми размерами: глубина 50…75 мкм, длина 1,7…2 мм, расстояние между лунками 100…200 мм. Лунки на поверхности трения делают либо вдавливанием силой F алмазной пирамиды (способ отпечатков) (рис. 23.38, *а*), либо вращающимся твердосплавным роликом (способ «вытирания») (рис. 23.38, *б*). Второй из этих способов лучше, так как по сторонам лунки не происходит вспучивания металла, и это позволяет проводить измерения более точно. По изменению размера лунки, т.е. по уменьшению ее глубины по сравнению с исходной h_0 за время работы станка между измерениями, судят о величине износа. Глубину лунки вычисляют по формуле

$$h_1 = \frac{l_1^2}{8r},$$

где l_1 — длина лунки; r — радиус кривизны углубления.

Длину l_1 лунок измеряют прибором МИБ-2 конструкции ЭНИМСа, представ-

ляющим собой отсчетный микроскоп с микрометрическим винтом. Лунки на направляющие должны наноситься посередине в направлении, перпендикулярном движению по ним, чтобы при износе поверхности концы лунок оставались четкими.

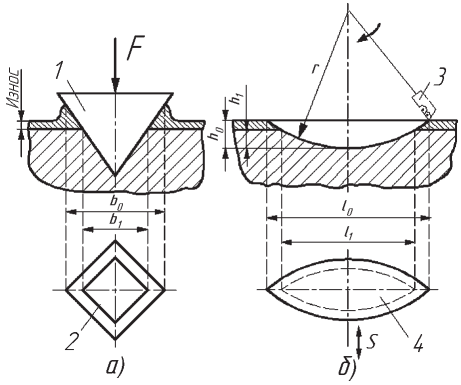


Рис. 23.38. Схемы нанесения отпечатка (*а*) и лунки (*б*) для определения износа направляющих:
1 — алмазная пирамидка; *2* — отпечаток; *3* — резец; *4* — лунка; *S* — направление движения подвижного узла станка по направляющим

В автоматических линиях наряду с методом «искусственных баз» из-за большого количества контролируемого оборудования и ограниченного доступа к трущимся поверхностям для оценки износа применяют метод поверхностной активации. Рабочие участки направляющих станков, шпиндельных узлов, зубчатых и червячных передач, винтовых передач и других ответственных механизмов подвергают поверхностной активации в циклотронах пучком ускоренных заряженных частиц (протонов, дейтронов, альфа-частиц). Глубина активированного слоя должна соответствовать предполагаемой величине линейного износа детали.

Одна из основных мер борьбы с износом деталей станков — это эффективное смазывание трущихся поверхностей. При этом поверхности во время работы разделяются слоем смазочного материала и мельчайшие неровности (шероховатости), которые имеются на этих поверхностях, не соприкасаются между собой.

Способы обнаружения дефектов и восстановления деталей. Дефекты, возникающие в процессе эксплуатации оборудования, можно подразделить на три группы:

1) износ, причины возникновения и контроль которого рассмотрен в предыдущем параграфе; сюда же относятся царапины, риски, надиры;

2) механические повреждения (трещины, выкрашивание зубьев, поломки, изгибы и скручивания);

3) химико-тепловые повреждения (коробление, раковины, коррозия).

Большинство крупных и средних механических дефектов обнаруживается при внешнем осмотре. В некоторых случаях проверку осуществляют с помощью молотка. Дребезжащий звук при обстукивании детали молотком свидетельствует о наличии в ней значительных трещин.

Для обнаружения мелких трещин можно использовать различные методы дефектоскопии. Наиболее просты капиллярные методы. Если, например, опустить деталь на 15…30 мин в керосин, то при наличии трещин жидкость проникает в них. Вытерев досуха поверхности детали, покрывают их тонким слоем мела: мел поглощает керосин из трещин, в результате чего на поверхности появляются темные полосы, указывающие местонахождения дефекта.

Для более качественного обнаружения трещин применяют жидкости, которые светятся при облучении ультрафиолетовым светом (капиллярный лю-

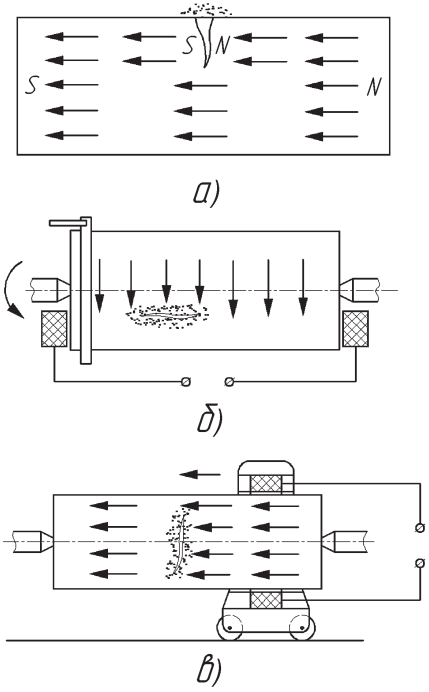


Рис. 23.39. Магнитная дефектоскопия: *а* — скопление магнитного порошка у трещины; *б* — схема ротационного намагничивания; *в* — схема продольного намагничивания

минесцентный метод). Такой жидкостью является, например, смесь 5 частей керосина, 2,5 частей трансформаторного масла и 2,5 частей бензина. Деталь погружается на 10…15 мин в жидкость, затем промывается и просушивается, после чего облучается ультрафиолетовыми лучами (ртутно-кварцевой лампой). В местах трещин появляется светло-зеленое свечение.

Трещины обнаруживаются также методами магнитной дефектоскопии. Деталь намагничивают и поливают магнитной суспензией (порошок оксида железа, размешанный в масле, керосине или водно-мыльном растворе). В местах трещин образуются скопления порошка (рис. 23.39, *а*). Продольные трещины обнаруживаются при прохождении магнитных линий по окружности детали (рис. 23.39, *б*), а поперечные трещины — при продольном намагничивании, когда магнитные линии проходят вдоль оси детали (рис. 23.39, *в*).

Дефекты, расположенные внутри материала, обнаруживаются рентгеноскопическим методом. Рентгеновские лучи, проходя через проверяемую деталь, попадают на чувствительную пленку, на которой пустоты проявляются как более темные пятна, а плотные инородные включения — как более светлые пятна.

В настоящее время распространен ультразвуковой метод обнаружения трещин и других внутренних дефектов. К исследуемой детали прикладывают ультразвуковой зонд, основной частью которого является кристаллический генератор механических колебаний высокой частоты (0,5…10 МГц). Эти колебания, проходя через материал детали, отражаются от внутренних границ (внутренних трещин, поверхностей разрыва, раковин и т.д.) и попадают обратно в зонд. Прибор регистрирует время запаздывания отраженных волн относительно излученных. Чем больше это время, тем больше глубина, на которой расположен дефект. Для лучшей передачи колебаний от зонда к исследуемой детали последнюю обычно помещают в жидкость (воду, масло и т.п.).

Восстановление деталей механической обработкой — метод ремонтных размеров — применяется для восстановления точности направляющих станков, изношенных отверстий или шеек различных деталей, резьбы ходовых винтов и др. Из двух как минимум сопряженных деталей ремонтируется более дорогая, трудоемкая и металлоемкая деталь, а заменяется более дешевая. Изношенные места деталей переводятся соответствующей обработкой (токарной, строгальной, шлифовальной и т.д.) в следующий ремонтный размер.

Ремонтным размером называется размер, до которого проводится обработка изношенной поверхности при восстановлении детали. Различают свободные и регламентированные размеры. *Свободные ремонтные размеры* — это такие, значения которых не устанавливаются заранее, а получаются непосредственно в процессе обработки, когда будут удалены следы износа и восстановлена форма детали. К полученному размеру подгоняют соответствующий размер сопряженной детали методом индивидуальной пригонки.

Регламентированный ремонтный размер — это заранее установленный размер, до которого ведут обработку изношенной поверхности при ее исправлении. При этом запасные части можно изготавливать заранее, появляются условия для применения метода взаимозаменяемости при ремонте и ускоряется ремонт.

При ремонте направляющих станков переводом в новый ремонтный размер нарушенную размерную цепь с каретками суппортов или другими сборочными единицами восстанавливают постановкой деталей компенсаторов.

Восстановление деталей сваркой и наплавкой. Сваркой исправляют детали с изломами, трещинами, отколами. Наплавка является разновидностью сварки и заключается в том, что на изношенный участок наплавляют присадочный материал. Однако при восстановлении деталей сваркой и наплавкой необходимо учитывать возможность возникновения деформаций (коробления) и внутренних напряжений в деталях из-за неравномерного нагрева.

Для ремонта стальных деталей чаще применяют дуговую сварку металлическими электродами. Свариваемость стали зависит от ее химического состава — от содержания углерода и таких легирующих элементов, как хром, марганец, никель и др. С увеличением их количества свариваемость ухудшается. Хорошо свариваемые стали можно наплавлять или сваривать в обычных производственных условиях без предварительного нагрева и последующей термической обработки. Стали с ограниченной и тем более плохой свариваемостью могут давать трещины в зоне сварки, поэтому рекомендуется детали из них перед сваркой отжигать при температуре 500…600 °С, а по окончании сварки подвергать закалке и отпуску.

При восстановлении деталей из чугуна (а также деталей из углеродистых сталей толщиной менее 3 мм) используют в основном газовую сварку. Сварка чугуна ведется кислородно-ацетиленовым пламенем с некоторым избытком ацетилена (пламя получается восстановительное). При этом используется чугунный присадочный материал в виде прутков с повышенным содержанием углерода и кремния, так как эти элементы в процессе сварки частично выгорают. Для предохранения расплавленного материала от оксидирования применяют флюсы, а если есть условия, то сварку ведут в среде инертного газа.

Детали из серого чугуна можно сваривать с предварительным общим нагревом, с местным подогревом или без подогрева. Сварка с предварительным подогревом до 500…700 °С условно называется горячей, до 250…450 °С — полугорячей, а без подогрева — холодной сваркой. Лучшие результаты дает горячая сварка.

Широкое распространение получил способ восстановления деталей из чугуна методом сварки-пайки латунной проволокой и прутками из медно-цинковых оловянных сплавов. Это способ не требует нагрева свариваемых кромок до расплавления, а лишь до температуры плавления припоя.

Металлизация. Метод заключается в расплавлении металла и распылении его струей сжатого воздуха на мелкие частицы, которые внедряются в неровности поверхности, сцепляясь с ними. Металлизации могут быть подвергнуты детали из различных материалов, работающие при спокойной нагрузке. Отсутствие существенного нагрева металлизуемой детали предупреждает появление каких-либо внутренних напряжений и короблений. Металлизацией может быть наращен слой толщиной от 0,03 до 10 мм и более.

Металлизационные установки могут быть газовые (металл плавится в пламени газовой горелки) и электродуговые. На рис. 23.40 показана схема электродугового металлизатора. В его корпусе установлены катушки *3* с проволокой, которая подается медленно вращающимися роликами *5*. Электрический ток подводится к проволоке по проводам *6*. В зоне сближения обеих проволок возникает электрическая дуга, расплавленный металл выбрасывается на деталь *1* струей сжатого воздуха, поступающего по трубе *4*. Поверхность под металлизацию предварительно обезжиривается, и она должна быть шероховатой, что достигается пескоструйной обработкой, насечкой зубилом, нарезкой мелкой рваной резьбы (для круглых деталей) и другими способами. Нанесенный слой *2* является пористым, прочность сцепления его достаточна для обработки резанием, но недостаточна при динамических и ударных нагрузках. Пористость нанесенного слоя повышает износоустойчивость металлизированной поверхности за счет лучшего удерживания смазки и понижения коэффициента трения.

Хромирование. Представляет собой процесс восстановления изношенной поверхности детали осаждением хрома электролитическим путем. Хромированные поверхности детали обладают повышенной твердостью и износоустойчивостью, но плохо переносят динамические нагрузки. Хромирование является менее универсальным процессом по сравнению с металлизацией из-за небольшой толщины наращиваемого слоя хрома — до 0,1 мм (при увеличении толщины слоя качество его ухудшается), а также из-за плохого покрытия деталей сложной конфигурации. Но оно имеет бесспорное преимущество перед другими методами восстановления размеров деталей.

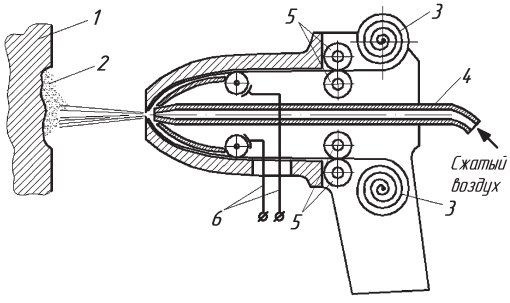


Рис. 23.40. Схема электродугового металлизатора:
1 — деталь; *2* — нанесенный слой; *3* — катушка с проволокой; *4* — трубка для подвода сжатого воздуха; *5* — подающие ролики; *6* — подвод электрического тока

Наращенный слой хрома после его частичного износа может быть легко удален гальваническим путем (дехромированием), и таким образом детали могут быть многократно восстановлены без изменения размеров основного металла детали. Применение размерного хромирования позволяет упростить процесс механической обработки за счет устранения окончательного шлифования; наконец, процесс происходит при низких температурах, поэтому не нарушается структура основного металла.

23.7.3. Ремонт характерных деталей

Среди деталей, наиболее часто нуждающихся в ремонте, отметим: станины, корпусные детали, шпиндели, зубчатые колеса, передачи винт—гайка, червяк—рейка, валы, детали цепных и ременных передач, а также соединения — резьбовые, шпоночные, шлицевые.

Ремонт станин. Трещины в станинах могут быть ликвидированы различными способами: заваркой с последующей механической обработкой (при необходимости), с помощью накладок, штифтов, стяжек. Для предотвращения дальнейшего распространения трещины используют накладки. Концы трещины засверливают сверлом ∅ 4…5 мм; вырезают из мягкой листовой стали толщиной 4…5 мм накладку (ее размеры должны перекрывать границы трещины не менее чем на 15 мм); согласно размерам накладки из картона или листового свинца вырезают прокладку; в накладке и прокладке по периметру сверлят сквозные отверстия под винты М5 и М6 с потайной головкой на расстоянии 10 мм от края и 10…15 мм друг от друга; в станине размечают по накладке и сверлят отверстия и нарезают резьбу М5 или М6; прокладку и накладку смазывают суриком или клеем (БФ2, карбонильным клеем и др.) и закрепляют на станине винтами; края накладки расчеканивают и отпиливают.

С помощью стяжек трещины устраняют следующим образом: на некотором расстоянии от трещины по обе ее стороны сверлят и развертывают два отверстия, в которые запрессовывают штифты с выступающими концами; из стального листа изготавливают пластину-стяжку, имеющую два сквозных отверстия (под штифты), межосевое расстояние которых несколько меньше расстояния между штифтами, установленными на станине; трещину стягивают струбцинами; пластину-стяжку нагревают и устанавливают на штифты. При остывании пластины-стяжки трещина стягивается.

Сломанные выступающие части станины (кронштейны, ушки, стержни) восстанавливают приваркой отломанной части и установкой вставки или пробки. В последнем случае оставшуюся на станине часть сломанного элемента удаляют (строганием, фрезерованием, обрубкой, запиливанием, высверливанием); затем под эту вставку фрезеруют или выпиливают паз или засверливают и развертывают (или нарезают резьбу) под пробку (либо под штифт с резьбовым концом); вставку запрессовывают в паз и крепят винтами; пробку запрессовывают, а штифт ввинчивают резьбовым концом, смазанным суриком. При наличии в сломанном кронштейне отверстия его растачивают или развертывают до номинального размера после установки вставки.

Изношенные отверстия станины восстанавливают наплавлением слоя металла на поверхность отверстия с последующей механической обработкой и установкой ремонтной втулки: изношенное отверстие рассверливают или растачивают под запрессовку в него втулки или стакана; во втулке (стакане) растачивают или развертывают отверстие нужного диаметрального размера. Выбор способа *восстановления направляющих* станины определяется характером и степенью их износа, а также условиями ремонта (оснащенностью предприятия специальным оборудованием и приспособлениями).

Характеристики способов ремонта приведены в табл. 23.4.

23.4. Трудоемкость и эффективность некоторых способов ремонта направляющих станин

Способ ремонта	Износ, мм	Трудоемкость, %	Обеспечиваемая шероховатость поверхности, мкм (ИСО 2632)	Отклонение от прямолинейности при длине направляющих 1000 мм, мкм
Шабрение	≤ 0,2	100	0,4	6…10
Шлифование	≤ 0,3	35	0,8	
Тонкое фрезерование	> 0,3	30	0,8	
Строгание с последующим шлифованием	> 0,3	50	0,8	
Строгание с последующим шабрением	> 0,3	60	0,4	

Образующиеся при эксплуатации направляющих *глубокие риски* и *задиры* запаивают баббитом. Ремонтируемое место тщательно зачищают, разделывают кромки под углом 90° с высокой шероховатостью поверхности. Поверхность обезжиривают ацетоном, бензином или раствором кальцинированной соды, подогревают, наносят флюс (хлористый цинк) и осуществляют пайку массивным (1,5…2 кг) паяльником.

Указанные дефекты устраняют также *металлизацией* с напылением цинка или латуни. После напыления или паяния направляющие шлифуют или шабрят.

Значительные дефекты и большой износ направляющих устраняют строганием или фрезерованием, или установкой на их место и закреплением болтами накладных направляющих.

Ремонт корпусных деталей. Характерными дефектами корпусов, изготовленных из серого чугуна, являются: изнашивание посадочных отверстий под подшипники и стаканы, резьбовых отверстий, отверстий под валики переключения передач, под установочные штифты, сколы и трещины, коробление присоединительных поверхностей.

Для восстановления большинства корпусов наиболее рациональной является схема базирования, которая применялась предприятием-изготовителем детали. Однако использование технологических баз завода-изготовителя не всегда возможно из-за износа базовых поверхностей, поэтому в технологический процесс восстановления корпусных деталей нужно вводить зачистку базовых поверхностей последних в местах контакта с установочными элементами приспособлений.

При восстановлении корпусных деталей следует растачивать все основные отверстия, связанные между собой размерами с жесткими допусками и имеющие важное функциональное назначение (отверстия под подшипники и стаканы под них, под оси шестерен или отверстия, определяющие относительное расположение присоединяемых деталей и сборочных единиц) за одну установку вне зависимости от того, изношены все отверстия или только некоторые из них.

Для восстановления основных (посадочных) отверстий корпусов следует применять те способы, при которых на поверхность отверстий наносят слой матери-

ала толщиной не менее 1 мм, обеспечивающий последующую точную их обработку лезвийным инструментом. К этим способам относятся: газотермическое нанесение порошковых материалов, металлизация, установка ремонтных втулок.

Основные отверстия корпусных деталей можно восстанавливать путем постановки свертных тонкостенных колец с их последующим закреплением в отверстии раскатыванием. Отверстия восстанавливаемого корпуса растачивают на 0,9…1 мм на сторону. Затем в них нарезают винтовые канавки с треугольным профилем с углом при вершине, равным 60…80°, и глубиной 0,3…0,5 мм. В зависимости от длины отверстий шаг винтовых канавок выбирают 3…5 мм. Затем в отверстия запрессовывают свертные кольца из углеродистой листовой стали толщиной 1,2…1,5 мм и раскатывают многороликовыми дифференциальными раскатками на радиально-сверлильных и горизонтально-расточных станках. При раскатывании металл колец деформируется и заполняет винтовые канавки. При этом обеспечивается высокая прочность соединений. Для восстановления взаимного расположения отверстий после раскатывания применяют чистовое растачивание (припуск 0,1…0,3 мм на сторону).

Восстанавливать изношенные отверстия корпусов можно также посредством размерных отверстий свертных колец, которые устанавливают в отверстиях с использованием низких температур. В этом случае технология включает растачивание отверстия до заданного размера, установку охлажденного в жидком азоте размерного свертного кольца в отверстие. Возможен предварительный нагрев корпусной детали. Размерное свертное кольцо после установки окончательно формируется до номинального диаметрального размера посредством дорнования. Такая технология позволяет исключить операции раскатывания (что важно для корпусов из алюминиевых сплавов) и окончательного чистового растачивания.

Появившиеся за время эксплуатации корпусных деталей трещины устраняют посредством металлических, изготовленных из малоуглеродистой стали, фигурных вставок. Кромки трещины стягивают за счет установки последних в специально выполненные пазы. Вставки выполняют в виде цилиндров, соединенных перемычками. Форма подготовляемого паза корпуса, имеющего трещину, должна соответствовать форме вставки. Герметичность трещины обеспечивают путем запрессовки вставки с применением эпоксидного композиционного материала. Трещины и обломы корпусных деталей устраняют также заваркой.

Ремонт шпинделей. В процессе эксплуатации станка поверхности шпинделя в результате действия ряда факторов изнашиваются. В тех случаях, когда ремонт шпинделя влечет за собой также ремонт или изготовление новых, сопрягающихся с ним деталей, замена изношенного шпинделя новым может оказаться более экономичной. Шпиндели имеют посадочные поверхности для базирования технологической оснастки, поэтому при ремонте стремятся восстановить начальные размеры его поверхностей.

Подготовку полого шпинделя к проведению ремонта механической обработкой выполняют следующим образом. Сначала определяют неизношенные поверхности в целях их использования в качестве баз для центрирования детали, осуществляемого установкой специальных технологических пробок. Эта опера-

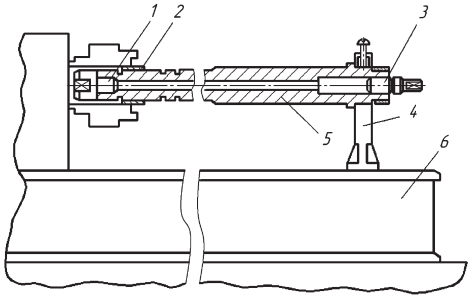


Рис. 23.41. Схема установки шпинделя на технологические пробки

ция требует точного исполнения. Она во многом определяет качество ремонта. Перед установкой пробок контролируют состояние отверстий на концах шпинделя: их зачищают от царапин и забоин, проверяют на краску посредством контрольных пробок (отпечатки краски должны покрывать не менее 70% площади поверхности отверстия, контактируемой с поверхностью пробки); при необходимости отверстия доводят точением, шлифованием или притиркой. Пробка *3* (рис. 23.41) имеет резьбовую часть, на нее навинчивают гайку (на рис. 23.41 не показана), посредством которой выпрессовывают пробку, не повреждая отверстия шпинделя.

Центрование шпинделя *5* выполняют в следующей последовательности: заготовку *2* разрезной цапфы устанавливают и зажимают в патроне, растачивают в цапфе отверстие согласно диаметральному размеру хвостовика шпинделя, подлежащего ремонту; шпиндель одним концом устанавливают в цапфу, а передней шейкой в люнет *4;* посредством сухарей люнета контролируют по индикатору положение шпинделя (допуск биения 0,01 мм); окончательно зажимают разрезную цапфу и осуществляют центрование передней технологической пробки *3* (сверлят и развертывают центровое отверстие); снимают шпиндель со станка *6*; растачивают дополнительно цапфу согласно диаметральному размеру передней базовой поверхности; вновь устанавливают шпиндель на станок и закрепляют в цапфе передний его конец, а хвостовик располагают в люнете; дополнительно выверяют положение шпинделя посредством сухарей люнета; осуществляют центрование второй технологической пробки *1.* Центровые отверстия, выполненные в технологических пробках *1*, *3*, используют в качестве технологических баз при проведении ремонтных операций, указанных в технологической маршрутной карте.

Одним из способов восстановления изношенных поверхностей шпинделя является применение *тонкостенных компенсационных колец и втулок*, которые устанавливают на эпоксидный клей. Для установки компенсационных колец или втулок с изношенной поверхности удаляют слой металла (механической обработкой) в целях посадки детали-компенсатора с номинальным размером или увеличенным ремонтным размером восстанавливаемой поверхности. Снимаемый слой металла должен быть минимальным: не более 10…15% номинального диаметрального размера сплошного сечения вала или толщины стенки полого шпинделя.

Для восстановления поверхности шейки шпинделя под подшипник качения (неподвижная посадка) компенсационное кольцо может быть тонкостенным (1…2,5 мм). Тонкостенные компенсационные кольца изготавливают из того же материала, что и ремонтируемый шпиндель, или из материала, отвечающего повышенным требованиям по износостойкости. Внутренний диаметральный размер поверхности выполняют по месту с зазором 0,04…0,05 мм, параметр

шероховатости *Ra* 20, а наружный — с припуском 3…5 мм. Компенсационное кольцо устанавливают на эпоксидный клей. Окончательную обработку выполняют через 24 ч после отвердения клея с обильным охлаждением.

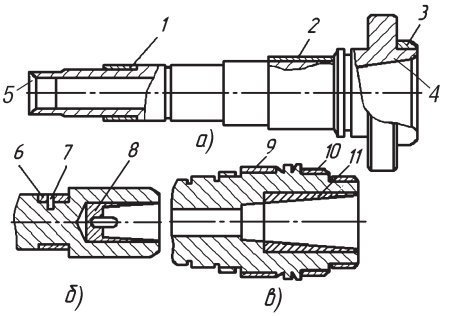


Рис. 23.42. Схемы ремонта шпинделей токарных (*а, в*) и сверлильного (*б*) станков с помощью компенсационных колец и втулок:
1—3, 6, 9, 10 — компенсационные кольца; *4, 5* — конические отверстия шпинделя; *7* — штифты; *8, 11* — компенсационные втулки

Компенсационные втулки с толщиной стенки 2,5…3,5 мм и более изготавливают из цементуемой стали. Диаметральный размер восстанавливаемой поверхности (внутренней) втулки выполняют с припуском 0,2…0,3 мм, а диаметральный размер ее поверхности, сопрягаемой с поверхностью шпинделя, — с припуском 3…4 мм. Эту поверхность цементуют, затем снимают с нее науглероженный слой металла и закаливают втулку до 50…68 HRC. Внутреннюю поверхность шпинделя обрабатывают, подготавливая к установке втулки. Незакаленную наружную поверхность последней обрабатывают по размеру подготовленной поверхности шпинделя с диаметральным зазором 0,05 мм (шероховатость поверхности *Ra* 20*)*. Втулку устанавливают в отверстие шпинделя на эпоксидный клей. Закаленную поверхность втулки шлифуют окончательно после отвердения клея.

Схемы установки компенсационных колец и втулок на эпоксидный клей при ремонте шпинделей станков показаны на рис. 23.42. У шпинделя токарного станка посредством колец *1* и *2* восстановлены шейки (рис. 23.42,*а*) под подшипники качения, кольцом *3* восстановлена коническая поверхность, служащая для установки патрона.

Шейки шпинделя сверлильного станка (рис. 23.42, *б*) восстановлены посредством тонкостенного кольца (толщина менее 1 мм) *6* и втулки *8*. Кольцо *6* выполнено из двух полуколец, которые зафиксированы двумя штифтами *7*, поставленными на эпоксидный клей. Также с помощью кольца *9* (рис. 23.42, *в*) восстановлена коническая поверхность под роликовый подшипник, кольца *10* — поверхность под патрон. Коническое отверстие шпинделя восстановлено посредством втулки *11* с закаленной внутренней поверхностью.

При финишной механической обработке компенсационных колец и втулок нельзя допускать перегрева, так как может разрушиться клеевая пленка, поэтому операцию следует выполнять с обильным охлаждением.

Шпиндели, имеющие *износ шеек на сторону 0,005…0,01 мм*, ремонтируют притиркой на токарном станке. Притирку осуществляют специальным инструментом — жимком (рис. 23.43). Он состоит из кольца-хомутика *1*, винта *2,* разрезной втулки-притира *3* и рукоятки-державки (на рисунке не показана). Втулку-притир изготавливают из чугуна, меди или бронзы, а отверстие в ней выполняют по размеру восстанавливаемой шейки шпинделя *4*. На обрабатываемую поверхность накладывают тонкий слой смеси, состоящей из мелкого наждачного порошка и масла. После этого надевают жимок и слегка завинчивают винт *2*.

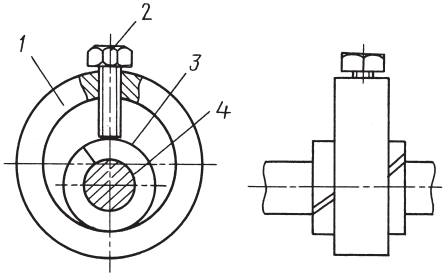


Рис. 23.43. Жимок для притирки шеек шпинделя

Токарный станок настраивают на частоту вращения, при которой скорость резания находится в пределах 10…20 м/мин. Включают станок и равномерно перемещают жимок вдоль обрабатываемой поверхности шейки шпинделя. Обновляют время от времени слой притирочной смеси и подвинчивают винт *2*. Устранив износ, промывают шейку и притир керосином. Затем наносят на шейку тонкий слой доводочной пасты с керосином и таким же образом заканчивают обработку.

Если *износ шеек шпинделя* превышает *0,01 мм на сторону*, то их ремонтируют тонким шлифованием с последующей притиркой под ремонтный размер. Однако такой способ ремонта может быть использован лишь тогда, когда имеется возможность изменить соответственно диаметральные размеры отверстий в подшипниках или других деталях, которые сопрягаются со шпинделем.

При износе основных поверхностей шпинделей *до 0,05 мм на сторону* сначала выполняют их предварительное шлифование для восстановления точности геометрической формы поверхностей, затем осуществляют их хромирование.

Процесс хромирования является трудоемким, длительным и дорогостоящим. Для осаждения слоя хрома толщиной 0,1 мм затрачивается 6…15 ч. Хромовое электролитическое покрытие обладает высокой твердостью (65 $HRC_э$), низким коэффициентом трения, повышенной сопротивляемостью износу. Недостатком этого способа восстановления является отслаивание покрытия. После хромирования с поверхности шлифованием снимают слой до 0,03 мм на сторону. Максимально допускаемая толщина слоя хрома после шлифования для поверхностей скольжения шпинделя не должна превышать 0,12 мм — при давлении не более 50 МПа; 0,05…0,1 мм — при давлении 50…200 МПа; 0,03 мм — при давлении, превышающем 200 МПа, и динамической нагрузке с нагревом.

При износе более 0,05 мм на сторону осуществляют наращивание поверхностей металлом одним из известных способов, например вибродуговой наплавкой, затем проводят механическую обработку.

Конические отверстия на концах шпинделей при восстановлении обычно шлифуют, затем по конусному калибру обрабатывают торцы. Торец фланца на конце шпинделя после восстановления конусной посадочной шейки также обрабатывают.

При восстановлении конического отверстия шпинделя механическую обработку его поверхности можно осуществлять с помощью специальных приспособлений, не снимая шпинделя со станка.

На рис. 23.44 для примера показан ремонтный чертеж шпинделя токарного станка, а в табл. 23.5 — технологический процесс его ремонта с учетом данных, определенных при проверке. Износ поверхности ① [М48×1,5] — 0,4 мм на сторону. Поверхность ② — ∅49,96 мм [∅50k6]; поверхность ③ — ∅59,95 мм [∅60 k6]; на поверхности ④ — [М64×6] — резьба замята на 0,25 мм на сторону. Поверхность ⑤ — ∅74,97 мм [∅75 k6]; поверхность ⑥ — ∅69,87 мм [∅70 k6];

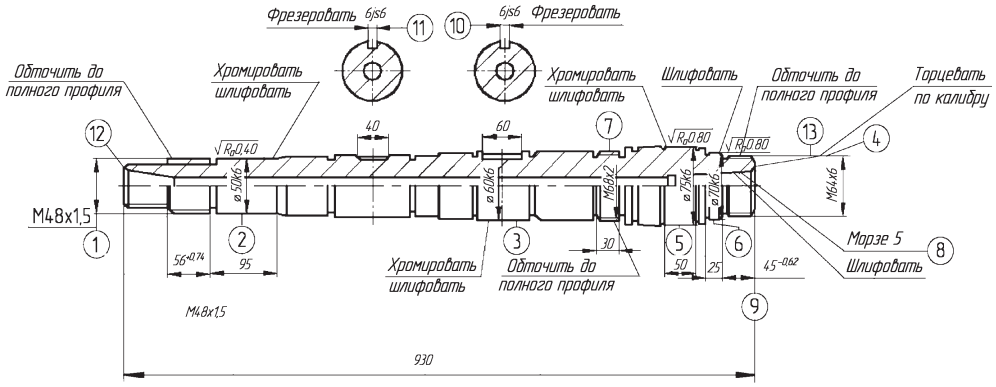


Рис. 23.44. Ремонтный чертеж шпинделя токарного станка

на поверхности ⑦ — [M68×2] — резьба замята на 0,3 мм на сторону; на поверхности ⑧ — надиры и забоины до 0,75 мм. Поверхности ⑩ и ⑪ — 6,07 мм — [6 js6]. Биение поверхности ② [∅50 k6] составляет 0,035 мм, поверхности ⑥ [∅70 k6] — 0,055 мм, буртика поверхности ⑥ — 0,05 мм. В квадратных скобках даны номинальные размеры шпинделя (до износа).

Для ремонта шпинделя используют токарно-винторезный, вертикально-фрезерный, круглошлифовальный станки, верстак со слесарными тисками и гальваническую ванну, а также соответствующую технологическую оснастку.

При ремонте шпинделей резьбы обычно прорезают до полного профиля, нестандартные гайки к ним изготавливают заново.

Ремонт деталей резьбовых соединений. Износ резьбовых соединений проявляется в следующем: изменяется профиль резьбы по среднему диаметру, что приводит к увеличению зазора в соединении (наблюдается у часто отвертываемых винтов и болтов); сминаются под действием нагрузок рабочие поверхности профиля резьбы; удлиняется под действием осевых рабочих нагрузок и усилий затяжки стержень болта; изменяется шаг резьбы. Поврежденные или изношенные крепежные винты и болты не ремонтируют, а заменяют новыми.

Выбраковка (дефектовка) внутренней резьбы. Дефектовка резьбового отверстия выполняется либо визуальным осмотром, либо резьбовыми шаблонами и резьбовыми калибрами. Различают следующие выбраковочные признаки.

При визуальном осмотре:

• трещины в корпусе детали, проходящие через резьбовые отверстия;

• износ резьбового отверстия, если резьба сорвана полностью, т.е. диаметр резьбового отверстия больше наружного диаметра резьбы;

• срыв более двух ниток, скол металла в резьбовом отверстии.

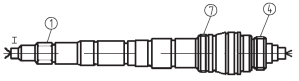
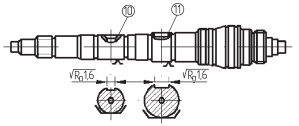
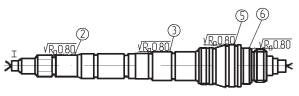
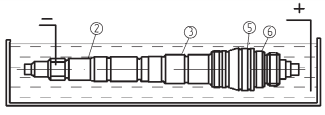
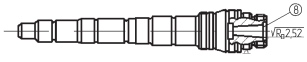
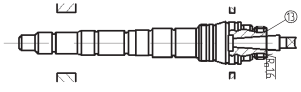
При дефектовке резьбовыми шаблонами:

• снижение высоты профиля резьбы более чем на 1/4;

• одно- или двусторонний износ резьбы до такой величины, что при наложении шаблона на резьбу между ним и резьбой будет виден просвет на всех витках резьбы.

При дефектовке резьбовыми калибрами:

23.5. Технологическая последовательность ремонта шпинделя

Номер операции	Содержание операции	Эскиз операции
05	Токарная Зачистить внутренние фаски в отверстии с двух сторон поверхностей (12) и (13)	
10	Слесарная Установить и закрепить шпиндель на оправке	
15	Токарная Прорезать резьбу до полного профиля: (M48)x1,5 на поверхности (1) (M64)x6 на поверхности (4) (M68)x2 на поверхности (7)	
20	Фрезерная Фрезеровать шпоночные пазы b=5js6 на поверхности: (10) l=40 (11) l=60	
25	Шлифовальная Шлифовать поверхности: (2) ⌀49,92 (50k6), l=95 (3) ⌀59,92 (60k6), l=60 (5) ⌀74,94 (75k6), l=50 (6) ⌀69,80 (70k6), l=25	
30	Гальваническая Хромировать поверхности: (2) ⌀50,06 (50k6), l=95 (3) ⌀60,06 (60k6), l=60 (5) ⌀75,06 (75k6), l=50 (6) ⌀69,84, l=25	
35	Шлифовальная Шлифовать поверхности: (2) ⌀50k6, l=95 (3) ⌀60k6, l=60 (5) ⌀75k6, l=50 (6) ⌀69,82, l=25	См. эскиз операции 25
40	Шлифовальная [1] Шлифовать конус Морзе 5 на поверхности (8) (крупные риски и задиры не выводить)	
45	Слесарная Собрать станок полностью	
50	Токарная Торцевать шпиндель по конусному калибру Морзе 5 на поверхности (13)	

[1] Для шлифования конического отверстия шпинделя после сборки всего станка используют шлифовальную машинку, установленную вместо резцедержателя. Обязательной операцией является проточка торцовой части шпинделя по конусному калибру.

• завертывание в резьбовое отверстие непроходного калибра более чем на две нитки;

• ощутимое покачивание верхней части калибра более чем на 1 мм в любую сторону при завертывании в резьбовое отверстие проходного калибра на всю глубину резьбы.

Ремонт резьбовых отверстий выполняют следующим образом: отверстие просверливают на бóльшую глубину (если это возможно) и заново нарезают в нем резьбу; в углубленное отверстие ввертывают новый винт с удлиненной резьбовой частью; отверстие рассверливают, нарезают в нем новую резьбу большего диаметра и ставят новые винты с резьбой данного диаметра; отверстие для винта во второй соединяемой детали рассверливают.

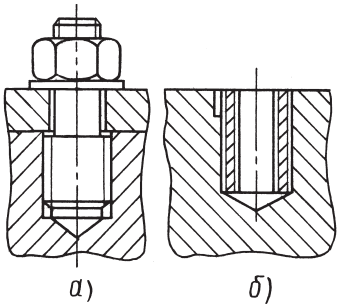


Рис. 23.45. Схемы ремонта резьбовых соединений посредством установки: *а* — новой шпильки с уступом двух диаметров; *б* — втулки с наружной и внутренней резьбой

При ремонте резьбовых соединений часто взамен старой изготавливают новую шпильку с уступом и резьбой двух диаметров (рис. 23.45, *а*): большего — для завинчивания шпильки в одну из соединяемых деталей и меньшего — для соединения со второй и стягивания их гайкой.

При ремонте резьбовых отверстий в деталях различного служебного назначения часто необходимо восстанавливать первоначальную (номинальную) резьбу: существующее (изношенное) резьбовое отверстие рассверливают, нарезают новую резьбу, затем изготавливают переходную втулку (с наружной и внутренней резьбой, рассчитанной на нормальный винт, далее ее устанавливают заподлицо с плоскостью детали и стопорят винтом (рис. 23.45, *б*). Переходную втулку изготавливают толстостенной и устанавливают на эпоксидный клей.

В ряде случаев изношенное резьбовое отверстие в детали заглушают или заваривают, сверлят рядом другое отверстие и нарезают в нем резьбу заданного диаметра. Новое отверстие просверливают и во второй соединяемой детали.

Технология восстановления внутренних резьб спиральными вставками.

1. Подготовка резьбовых отверстий к установке спиральных вставок.

Рассверливают восстанавливаемые резьбовые отверстия до размеров, указанных в табл. 23.6. Смещение осей отверстий не должно превышать 0,15 мм.

23.6. Размеры сверл, метчиков и рассверливаемых отверстий

Размер изношенной резьбы	Диаметр сверла, мм	Диаметр рассверленного отверстия, мм	Размер метчика
М6	7,0	6,96…7,12	М8×1
М8	8,7	8,70…8,86	М10×1,25
М10	10,5	10,45…10,62	М12×1,5
М12	12,2	12.18...12.38	М14×1,75
М12×1,25	12,7	12,70...12,86	М14×1,25
М14	14,0	13,90…14,13	М16×2
М14×1,5	14,5	14,45...14,62	М16×1,5
М16	16,2	16,20…16,40	М18×2
М16×1,5	16,5	16,45…16,62	М18×1,5
М18	18,0	18, 10…18,40	М20×2,5

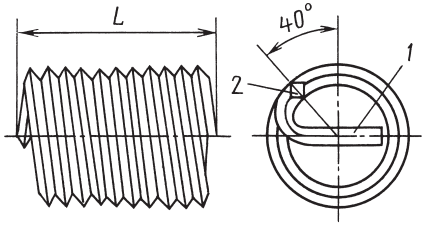


Рис. 23.46. Спиральная вставка

Перекос осей отверстий более 0,15 мм на длине 100 мм не допускается. Резьбы в рассверленных отверстиях нарезают с тем же шагом и на ту же глубину, которые были до рассверливания.

2. Изготовление спиральных вставок. Спиральные вставки изготавливают из проволоки ромбического сечения в виде пружинящей спирали с жесткими технологическими допусками. Они представляют собой строго концентрические внутренние и наружные резьбы повышенного класса точности (рис. 23.46). Вставки снабжаются изогнутой частью — поводком *1* — для завинчивания их в резьбовое отверстие. Для удаления поводка *1* после заворачивания вставки в резьбовое отверстие у основания изогнутой части наносится надрез *2*.

Наружный диаметр спиральной вставки должен быть больше наружного диаметра резьбы отверстия (табл. 23.7) — это обеспечивает необходимую прочность восстановления резьбы.

23.7. Наружные размеры спиральных вставок

Размер восстанавливаемого резьбового отверстия	Наружный диаметр спиральной вставки, мм	Размер восстанавливаемого резьбового отверстия	Наружный диаметр спиральной вставки, мм
М6	$8{,}0^{+0{,}10}$	М18	$20{,}4^{+0{,}25}$
М8	$10{,}1^{+0{,}15}$	М20	$22{,}5^{+0{,}30}$
М10	$12{,}2^{+0{,}15}$	М22	$24{,}5^{+0{,}30}$
М12	$14{,}2^{+0{,}20}$	М24	$27{,}6^{+0{,}40}$
М14	$16{,}3^{+0{,}25}$	М27	$30{,}6^{+0{,}50}$
М16	$18{,}4^{+0{,}25}$	М30	$33{,}6^{+0{,}50}$

Длина спиральной вставки *L* должна быть равна глубине резьбовой части восстанавливаемого резьбового отверстия.

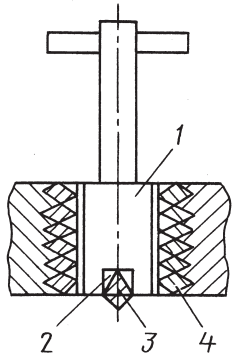


Рис. 23.47. Установка спиральной вставки в резьбовое отверстие

3. Установка спиральных вставок в резьбовое отверстие. Для завинчивания резьбовой вставки служит вороток *1* (рис. 23.47), изготовленный для каждого конкретного размера резьбы. На торце воротка имеется паз *2,* необходимый для захвата поводка *3* при заворачивании спиральной вставки *4* в резьбовое отверстие. После завинчивания вставки вороток удаляют и во внутреннюю полость вставки устанавливают пробойник для отделения поводка от вставки по месту надреза.

Восстановление наружных резьб.

Повторная прогонка резьбы плашкой. При износе витков резьбы 15…30%, а также в случае смятых или частично забитых витков резьбу повторно прогоняют плашкой. Способом повторной прогонки резьбы устраняют в основном такие дефекты, как смятие витков и изменение шага вслед-

ствие вытяжки нарезной части. Последний характерен для крепежных деталей, имеющих крупную резьбу. При повторной прогонке шага резьба исправляется в результате уменьшения размеров витка. Такой метод применяют в тех случаях, когда резьбовое соединение воспринимает лишь статические нагрузки.

Ремонт деталей передач винт—гайка.

Ремонт шариковой винтовой передачи (ШВП). Работу ШВП анализируют при проведении каждого технического обслуживания или ремонте станка с ЧПУ. Для этого выявляют и измеряют зазоры в передаче, которые являются следствием износа. Изнашивание резьбы винта определяют как разность относительных смещений, полученных при измерениях на различных участках винта.

Изнашивание *резьбы в гайках* считается нормальным, если оно проявляется в виде легкого смятия (без рифлений) профиля резьбы равномерно по всей длине при сохранении точности шага резьбы. Гайки с таким изнашиванием не требуют ремонта, потому что возможность регулирования натяга обеспечивает длительную эксплуатацию ШВП. Если значение изнашивания винта превышает 0,04 мм, профиль резьбы ходового винта выравнивают по всей его длине шлифованием.

Точность шага изношенной резьбы ШВП восстанавливают по всей длине независимо от способа выполнения ремонта (шлифованием или притиранием), расширяя канавку резьбы и придавая ей форму профиля, образованного на наиболее изношенном участке резьбы (внутренний диаметр существующей резьбы не изменяют).

Гайки ШВП обычно не ремонтируют, а переустанавливают их в корпусе. Каждую из гаек разворачивают на 180^{o} для того, чтобы использовать неизношенную сторону профиля резьбы.

В зависимости от возможностей и условий конкретного ремонтного производства для улучшения геометрических и физико-механических характеристик винтовых поверхностей ремонтируемых деталей можно использовать обработку обкатыванием, вибронакатыванием, ультразвуковое упрочнение. Эти способы обеспечивают высокую точность шага и формы витка резьбы.

Ремонт передач винт—гайка скольжения. В ходовых винтах, имеющих треугольную, прямоугольную или трапецеидальную резьбу, после продолжительной эксплуатации изнашиваются резьбовые, опорные цилиндрические поверхности. Восстановлению подлежат ходовые винты только с трапецеидальной или треугольной резьбой, а винты с прямоугольной резьбой заменяют новыми.

Изношенную трапецеидальную резьбу ходовых винтов ремонтируют, если ее износ не превышает 10% первоначальной толщины витка. Винт выверяют и протачивают или шлифуют резьбовую его часть по наружному диаметру, прорезают канавку резьбы и протачивают боковые поверхности, сохраняя все параметры резьбы, кроме наружного и внутреннего диаметров. При обработке необходимо, чтобы ширина витка после углубления канавки (и устранения износа) соответствовала первоначальному размеру. К винту по восстановленной резьбе изготавливают обычно новую нестандартную гайку. Посадочные изношенные шейки ходового винта ремонтируют шлифованием, и, если возможно по условиям эксплуатации, изношенные шейки ходового винта протачивают и на них напрессовывают или устанавливают и закрепляют (например, клеем) тонкостенные компенсационные втулки.

Изношенные гайки, как правило, заменяют новыми, изготовленными по отремонтированным ходовым винтам.

Изношенные маточные гайки, имеющие в своей конструкции бронзовые резьбовые вкладыши, ремонтируют посредством установки новых вкладышей.

Ремонт гладких и шлифовальных валов. В процессе эксплуатации валы и оси испытывают изгиб и кручение, а в отдельных случаях — сжатие и растяжение. У этих деталей изнашиваются посадочные шейки, шпоночные пазы и шлицы, резьбовые поверхности.

Статистика выполнения ремонтных работ показывает, что из совокупности поверхностей валов, подлежащих восстановлению, 46% изнашиваются до 0,3 мм; 27% — от 0,3 до 0,6 мм; 19% —от 0,6 до 1,2 мм и 8% — более 1,2 мм.

Посадочные поверхности валов под подшипники восстанавливают при износе 0,017— 0,060 мм и более; поверхности под ступицы, со шпоночными пазами и другие поверхности в неподвижных соединениях — 0,04…0,13 мм и более; поверхности подвижных соединений, подвергаемых деформациям, — 0,4…1,3 мм и более; поверхности под уплотнения — 0,15…0,20 мм и более.

Выбор способа ремонта валов (осей) зависит от величины износа и возможностей ремонтной базы.

У валов, шейки которых имеют износ (риски, царапины, отклонение от цилиндричности до 0,1 мм), проверяют сначала исправность центровых отверстий. При наличии вмятин и забоин на них — их исправляют, правят валы и ремонтируют шейки шлифованием.

Шейки валов, имеющих *значительный износ*, обтачивают и шлифуют под ремонтный размер. При этом допускается уменьшение диаметрального размера шеек на 5…10% в зависимости от характера воспринимаемых валом нагрузок. Если нужно восстановить первоначально заданные диаметральные размеры шеек, то на них после обтачивания напрессовывают или устанавливают на эпоксидном клее ремонтные втулки (компенсационные кольца), которые обтачивают или шлифуют. Изношенные поверхности валов ремонтируют также наплавкой, металлизацией, осталиванием, хромированием, газотермическим нанесением порошковых материалов повышенной износостойкости и другими методами.

При износе до 0,15 мм (на диаметральный размер) исходный размер шейки восстанавливают хромированием, предварительно для устранения рисок выполняют шлифование. Шейки валов (осей), имеющих износ 0,15…0,3 мм на сторону, восстанавливают осталиванием, вибродуговой наплавкой, электромеханическим способом и ферромагнитными порошками. При износе, превышающем 0,3 мм, применяют наплавку, металлизацию или осталивание. Выбор способа наращивания изношенных поверхностей шеек зависит также от вида посадки: с зазором или с натягом.

Шпоночные пазы у валов (осей) восстанавливают фрезерованием на следующий ремонтный размер или под нестандартную ступенчатую шпонку. В ряде случаев шпоночные пазы заваривают, затем ремонтируемую деталь поворачивают вокруг оси на 90° и фрезеруют в ней новые пазы.

При ремонте шлицевых валов устраняют дефекты, присущие гладким валам, и, кроме этого, восстанавливают поверхности шлицев. Для этого наиболее часто используют дуговую наплавку.

Однако такая технология не дает существенного снижения трудоемкости.

Ремонт деталей шпоночных соединений. В процессе эксплуатации детали шпоночных соединений под действием динамических нагрузок изнашиваются. Одной из основных причин, вызывающих нарушение правильности распределения нагрузки и смятия шпонки, является увеличение *зазора в соединении*. К смятию приводит также неправильное расположение шпоночного паза на валу. Перекос осей пазов вызывает перекос охватывающей детали на валу и изнашивание деталей соединения.

Шпоночные пазы восстанавливают при износе по ширине 0,065…0,1 мм и более.

Для восстановления шпоночных пазов применяют различные способы. При значительном износе шпоночный паз ремонтируют посредством *наплавки грани* с последующим фрезерованием.

Возможно применение такого вида ремонта: изношенный шпоночный паз посредством фрезерования *расширяют и углубляют*, полностью устраняя таким образом последствия износа; изготавливают специальную ступенчатую шпонку. Изношенные шпонки не ремонтируют, а изготавливают новые.

Ремонт зубчатых колес. Наиболее интенсивному изнашиванию подвержены зубчатые колеса непостоянного зацепления — переключаемые шестерни коробок скоростей и подач. У этих зубчатых колес преимущественно изнашиваются торцовые поверхности зубьев.

Зубчатые колеса требуют ремонта, когда у них имеются следующие дефекты: износ поверхностей рабочего профиля зубьев, скол части зуба или полностью нескольких зубьев, трещины на ступице или спице зубчатого колеса, а также его венце, износ отверстия, шпоночного паза, шлицев в ступице, вмятины на торцах зубьев и закруглений их торцов. Такие же дефекты могут быть у колес червячных передач.

Износ торцовых поверхностей зубьев подлежащих восстановлению колес составляет 1,2…6 мм, износ зубьев по толщине в ряде случаев составляет 1…1,2 мм.

Наиболее частым дефектом зубчатых колес всех видов и типов *является износ рабочего профиля зубьев*. Колеса с изношенными зубьями, как правило, не ремонтируют. Их заменяют новыми за исключением тех, износ по толщине зуба которых не выходит за пределы допустимых значений (табл. 23.8). Если та-

23.8. Допустимый износ зубьев зубчатых колес

Режим работы	Окружная скорость, м/с	Предельный износ к номинальной толщине зуба по начальной окружности, %, для ремонта		
		малого	среднего	капитального
Передача мощности в одном направлении при безударной нагрузке	До 2	20	15	10
	2…5	15	10	6
	Свыше 5	10	7	5
Реверсивная передача с ударной нагрузкой	До 2	15	10	5
	2…5	10	5	5

Примечание. Для чугунных зубчатых колес приведенные значения износа уменьшаются на 30%.

кие колеса при работе не ухудшают существенно эксплуатационных показаний узла или механизма, то их можно не менять.

Если ремонту подвергается одно колесо, то необходимо заменить и сопряженное с ним колесо, так как в противном случае не будет нормального контакта пары.

Когда диаметры пары зубчатого колеса различаются более чем в 2 раза, более интенсивному изнашиванию подвергается колесо малого диаметра, поэтому при ремонте заменяют только его. Своевременная замена этого колеса предохраняет от изнашивания зубья колеса большого диаметра, стоимость изготовления и ремонта которого значительно выше.

Заменять только одно колесо рекомендуется также в зубчатых парах, в которых одно колесо термообработано, а другое нет. Заменяют термически необработанное колесо. Новое («сырое») зубчатое колесо в зацеплении с более твердым (термообработанным) быстро прикатывается в процессе работы.

Колеса большого диаметра ($m > 5$ мм) тихоходных зубчатых передач, изготовленные из стали, чугуна без термообработки, восстанавливают лишь в тех случаях, когда это экономически целесообразно (например, если недопустимы простои оборудования). Их заменяют новыми при капитальном ремонте станков.

Ремонт термо- или химикотермообработанных зубчатых колес быстроходных передач затруднен из-за высокой твердости, поэтому такие быстроходные передачи, как правило, не ремонтируют.

В зависимости от назначения зубчатых колес, их размера и материала, наличия термообработки применяют следующие способы восстановления: наплавку торцов зубьев, сварку, горячую объемную штамповку и др.

В процессе эксплуатации червячных передач более интенсивно, как правило, изнашиваются червяки. Поэтому при ремонте изготавливают новый червяк и вводят его в зацепление с работавшим зубчатым колесом. В точных червячных передачах заменяют новыми и червяк, и колесо. Червячные колеса с изношенным зубчатым венцом восстанавливают путем замены венца. Ремонт легко выполняется, если червячные колеса сборные с бронзовым или чугунным венцом.

Ремонт деталей ременных передач. В шкивах *под клиновидные ремни* прежде всего изнашиваются поверхности канавок под ремни. Этот износ в ряде случаев достигает такой величины, что ремень опускается до дна канавки; при этом происходит излом буртиков шкива и нарушается его балансировка.

Для устранения износа в шкивах клиноременных передач обтачивают поверхности обода и стенок канавок, а дно канавок углубляют. Профиль и размеры всех канавок должны быть одинаковыми. Трещины и изломы на поверхности шкивов *устраняют заваркой,* предварительно выполняя соответствующую слесарную подготовку.

Чугунные шкивы перед заваркой нагревают равномерно по всему диаметру, чтобы на завариваемом участке свести к минимуму внутренние напряжения, вызывающие образование трещин в других местах ремонтируемой детали. При ремонте шкивов допускается изменение частоты вращения ременной передачи (понижение или повышение) не более чем на 15% номинальной; при бóльших отклонениях следует изготавливать новые шкивы.

Во время эксплуатации *в зубчатых ременных передачах* изнашиваются зубья ремней и шкивов. При ремонте шкивы и ремни заменяют новыми. Клиновые ремни при разрыве заменяют новыми.

23.7.4. Модернизация станков

23.7.4.1. Общие сведения

В процессе эксплуатации станков выявляется необходимость их модернизации с учетом последних достижений науки и техники и изменившихся условий производства. Часто модернизацию проводят при капитальном ремонте. Под модернизацией станков понимают внесение в конструкцию частичных изменений и усовершенствований в целях повышения их технологического уровня до уровня современных моделей аналогичного назначения (общетехническая модернизация) или для решения конкретных технологических задач производства путем приспособления к более качественному выполнению определенного вида работ (технологическая модернизация). В результате модернизации повышаются точность (на класс и более) и производительность (от 1,5 до 3 раз) оборудования, изменяется уровень автоматизации, уменьшаются эксплуатационные расходы, снижается брак, а также в ряде случаев увеличивается длительность межремонтного периода.

Уровень проводимой модернизации зависит от специфики оборудования и его стоимости. Тяжелые, уникальные и особоточные станки эксплуатируются десятки лет, и объем модернизации может достигать 50% от первоначальной стоимости станка. Необходимость модернизации зависит также от степени использования станков. Например, при среднем времени использования станков в промышленности около 16% наиболее загруженными являются продольно-фрезерные (≈ 40%) и токарно-карусельные (≈ 37%) станки, а наименее загруженными — вертикально-долбежные и шпоночно-протяжные (8%). Модернизацию оборудования целесообразно осуществлять только при условии ее экономической эффективности. Преждевременная модернизация, так же как и запоздалая, наносит ущерб производству.

Повышение производительности оборудования. Модернизация в целях сокращения *машинного времени* осуществляется путем улучшения технических характеристик: увеличения мощности привода, расширения диапазона скоростей резания и подач за счет использования новых приводов. Это обычно сопровождается повышением жесткости и виброустойчивости отдельных узлов станка, повышением жесткости крепления инструмента и т.п. Существенное влияние на качество обработки и производительность оказывает возможность использования в модернизируемом станке современных инструментальных материалов. Это относится к твердосплавному инструменту с износостойкими покрытиями, к композитам на основе кубического нитрида бора (марки 01-эльбор-р) и др.; к поликристаллическим синтетическим алмазам.

При применении торцовых фрез с режущими элементами из керамики при обработке серого чугуна производительность повышается в 2…3 раза по сравнению с использованием твердосплавного инструмента. Повышению эффективности обработки способствует также применение современных смазочно-

охлаждающих технологических средств. Для реализации возможностей инструмента при модернизации увеличивают частоты вращения шпинделей, в частности за счет применения автономных мотор-шпинделей с максимальной частотой вращения до 40 000…50 000 мин$^{-1}$ и мощностью до 50…60 кВт.

Повышение производительности часто ограничено жесткостью несущей системы станка, которая в значительной степени определяется подвижными узлами (цепочка стол—салазки—оснастка обычно является наименее жесткой). Тяжелые и массивные фундаменты способствуют снижению ударных нагрузок. Введение поддерживающих узлов (люнетов) уменьшает деформацию детали под нагрузкой, увеличивает жесткость обрабатываемой заготовки.

Модернизация *для сокращения* вспомогательного времени происходит по пути оснащения оборудования различными *зажимами*, загрузочно-разгрузочными устройствами, средствами активного контроля размеров обрабатываемых заготовок, механизмами для работы по программе и т.п. Перспективным направлением модернизации для повышения производительности является использование *комбинированных методов обработки* (плазменно-механическая обработка, обработка с нагревом зоны обработки лазерным лучом, вибрационное резание особенно для труднообрабатываемых материалов).

Повышение точности модернизируемых станков достигается в результате повышения кинематической точности (усовершенствование отсчетных устройств, использование коррекционных механизмов и т.п.), геометрической точности (совершенствование направляющих, шпиндельных опор и т.п.), уменьшения температурных деформаций (применение циркуляционного смазывания, холодильных установок, температурных компенсаторов и т.п.).

Использование новых комплектующих изделий, в частности линейных шариковых и роликовых направляющих типа ТНК, современных винтовых приводов на базе шариковых передач (диаметры винта до 125 мм, шаги до 40 мм и длина до 8000 мм), дает возможность в несколько раз повысить точность и скорость перемещения основных узлов.

В тяжелых и точных станках хорошие результаты по повышению точности и ее сохранению достигаются использованием гидростатических опор (направляющие, шпиндельные узлы) за счет применения различных систем для снижения упругих и температурных деформаций или их коррекции, например с помощью системы ЧПУ. В большинстве случаев механические и электронные системы коррекции используются совместно.

Повышение общего технического уровня станков. Большие возможности повышения технического уровня находящихся в эксплуатации станков связаны с заменой систем управления, приводов, датчиков перемещений узлов. Широкое использование мехатронных модулей перемещения на основе линейных двигателей, приводов вращения столов и т.д. позволяет повысить точность углового поворота, скорости рабочих и ускоренных ходов в несколько раз. Перенос рабочих функций с механических систем приводов на систему управления и электропривод позволяет получить более простые, компактные и легко управляемые узлы. Выделим некоторые направления повышения технического уровня.

Расширение функций управления станком. Все средства управления станком можно подразделить на: средства управления работой станка, производи-

тельностью, точностью, надежностью, диагностированием процесса обработки, защитой станка и контролем за его работой, измерениями по результатам обработки заготовок.

Управление работой станка включает в себя: приводы, цикловую обработку, ручное, полуавтоматическое и автоматическое управление.

Управление производительностью предполагает обеспечение максимально допустимых скорости и мощности резания, стойкости инструмента, оптимальных подач.

Управление точностью предусматривает компенсации возникающих деформаций, внесение коррекции при отклонениях размера и шероховатости.

Управление надежностью предполагает контроль температуры подшипников шпинделя, приводов подач (ШВП), направляющих (в зоне контакта), параметров вибрации, мощности резания, параметров систем смазывания (расход, давление, температура).

Диагностирование процесса обработки включает в себя контроль износа инструмента, деформации узлов, контроль блокировочных устройств, контроль состояния основных подсистем станка.

Управление защитой станка предусматривает контроль наездов на упоры или случайные предметы, контроль защиты направляющих, исключение появления аварийных ситуаций и контроль перекоса поперечины портальных станков, контроль износа гаек вертикальных винтов и т.п.

Управление контролем за работой станка включает в себя: контроль за установкой заготовки и инструмента, контроль за последовательностью выполняемых станком операций, за электрическими параметрами и др.

Управление измерениями предполагает контроль размеров заготовки, контроль измерительного блока, контроль очистки измеряемой поверхности.

Конкретный набор функций управления зависит от решаемой задачи.

Расширение технологических возможностей предполагает обеспечение выполнения станком дополнительных операций, не предусмотренных в базовом варианте. Это достигается оснащением станка дополнительными навесными головками для фрезерования, шлифования, доводочных операций; накатных приспособлений — для повышения качества поверхности и т.п. Например, применение навесных фрезерных головок (прямых, угловых, удлинителей и т.п.), револьверных головок, «глобусных» и поворотных столов и других приспособлений позволяет существенно расширить технологические возможности станков, расширить номенклатуру обрабатываемых заготовок. Особенно широко это применяется в тяжелых и уникальных станках, так как они во многих случаях используются как технологическое оборудование.

Улучшение обслуживания станков предполагает: механизацию установки и зажима инструмента и заготовок; модернизацию удаления стружки из зоны резания и от станка, защиту направляющих и тяговых устройств приводов подачи от попадания на них пыли и стружки, механизацию контроля размеров обрабатываемой заготовки, снижение шума, введение ограждений и шумопоглощающих устройств. При комбинированных методах обработки (плазменно-механическая и др.) предусматривается удаление газов из зоны резания, визуальное наблюдение за процессом обработки с помощью монитора и т.п.

Использование современных систем управления и электроавтоматики характерно для станков с ЧПУ и станков с достаточно высоким уровнем автоматизации управления. Существуют следующие *разновидности модернизации*, связанные с развитием электронной техники.

Замена устаревших или вышедших из строя систем управления современными системами, в том числе на базе персонального компьютера. При этом двигатели на станке могут заменяться или использоваться старые. Устройство управления станком в этом случае представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из персонального компьютера, платы сопряжения, встроенной в компьютер, силового сопряжения и программной поддержки управления в виде системного и прикладного программного обеспечения.

Программа обработки детали, написанная в соответствии с системой команд данного станка, вводится в компьютер с клавиатуры или с любого носителя для данного персонального компьютера. Управление станком позволяет, как правило, работать в следующих режимах:

- ввод и редактирование программ на рабочем месте;
- управление станком в ручном режиме с клавиатуры ПК (пошаговый режим);
- просмотр программы и редактирование;
- автоматическая отработка программы;
- графическое отображение на дисплее выполнения программы.

Упрощение подготовки управляющих программ (УП), например, посредством замены программоносителя в виде перфокарты, подготовкой УП с помощью компьютера и ввод ее в систему управления с помощью интерфейсного блока. Таким способом может быть повышена эффективность подготовки УП и продлен срок эксплуатации старых систем управления станком.

Замена датчиков обратной связи на более современные в целях повышения точности позиционирования узлов и надежности работы станка.

Переход от контактных элементов в схемах управления электроавтоматикой станков на бесконтактные путем замены аппаратных средств решения логических задач программными.

Это осуществляется с помощью программируемых контроллеров. При такой модернизации повышается надежность, расширяются функциональные возможности (контроль состояния подсистем, диагностические функции, установка циклов обработки и т.п.).

Программируемые контроллеры решают задачи инициирования выходных воздействий на основе анализа состояния входных сигналов в соответствии с логикой работы станка, заданной хранящейся в памяти ПК программой.

Одним из наиболее используемых видов задания на разработку электроавтоматики является изображение циклов работы узлов станка в форме циклограммы (могут относиться как ко всему технологическому комплексу, так и к его отдельным алгоритмам, узлам и их схемам управления). В большинстве ПК задания на программирование удобно представлять в виде принципиальной релейной электросхемы, структурной схемы, булевых (логических) уравнений, блок-схем алгоритмов, а также табличным способом.

23.7.4.2. Направления модернизации станков различных типов

Уровень, объем и направление модернизации станков различных типов определяются конкретными условиями производства и финансовыми возможностями предприятия, тем не менее выявились общие направления, характерные для многих предприятий.

Модернизация вертикально- и радиально-сверлильных станков. При модернизации этих станков для повышения точности применяют кондукторы, позволяющие повысить точность межосевого расстояния обработанных отверстий, а также механизированные устройства для зажима заготовок с механизированным приводом, обеспечивающие сокращение времени на загрузку-разгрузку и зажим-разжим заготовки, а также облегчение труда рабочего.

Модернизация универсальных фрезерных станков касается: 1) использования ручных и автоматизированных зажимных приспособлений в виде тисков различных конструкций, многоместных приспособлений, прихватов; 2) применения делительных приспособлений для фрезерования шпоночных пазов и лысок, кулачков, зубчатых муфт, квадратов и шестигранников; 3) использования дополнительных приспособлений, расширяющих технологические возможности (выполнение сверлильных, шлифовальных, долбежных и других операций).

Модернизация координатно-расточных станков:

- замена шпиндельных узлов на новые с использованием современных подшипников;
- замена сложной коробки скоростей двух-, трехступенчатой коробкой с регулируемым двигателем;
- замена оптических отсчетных устройств на электронные отсчетно-измерительные системы перемещений стола и салазок, включая оптоэлектронные датчики ЛИР-9, программируемый контроллер и устройство цифровой индикации;
- замена зубчато-реечных передач для перемещений стола и салазок шариковыми винтовыми парами, а также регулируемыми высокомоментными двигателями;
- замена электрооборудования, УЧПУ, пультов управления в соответствии с современными требованиями.

Модернизация шлифовальных станков касается применения прогрессивных конструкций приспособлений. В частности, приспособления для центровых *круглошлифовальных* станков подразделяются: на приспособления для обработки в центрах, поводковые устройства, шлифовальные оправки.

Приспособления для *внутришлифовальных* станков — самоцентрирующиеся трехкулачковые патроны высокой точности с ручным и механизированным зажимом (в условиях серийного производства). При массовом производстве наибольшее распространение получили мембранные патроны для уменьшения деформации заготовок.

Приспособления для *плоскошлифовальных* станков — это чаще всего электромагнитные плиты разных типов и размеров.

На бесцентровых круглошлифовальных станках одна из проблем при модернизации — обеспечение сокращения времени на наладку за счет установки суппорта ножа в определенное положение, а также обеспечение поддержки заготовки (детали) при транспортировании ее после обработки.

Модернизация станков с ЧПУ типа обрабатывающий центр направлена на расширение технологических возможностей станков, в том числе для обработки заготовок с пяти сторон с одного установа. Наиболее часто это осуществляется за счет эффективного применения современных приспособлений, отвечающих следующим специальным требованиям:

• приспособления должны обеспечивать полное базирование заготовок, т.е. лишать их всех шести степеней свободы. Необходимо строго определенное положение базирующих элементов приспособлений относительно начала координат станка (нулевой точки);

• приспособления должны обеспечивать возможность подхода инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям заготовки (до четырех-пяти координатных поверхностей) при одной установке, в том числе на поворотном столе;

• за счет автоматизации и механизации станков приспособления должны обеспечивать сокращение времени зажима-разжима заготовок;

• приспособления должны обеспечивать расширение технологических возможностей при обработке на трехкоординатных станках с ЧПУ заготовок, требующих четырех-, пятикоординатной обработки.

Переналаживаемые приспособления эффективно применять на станках с ЧПУ для обработки широкой номенклатуры заготовок. Специальные приспособления целесообразно применять лишь в условиях крупносерийного производства.

23.7.4.3. Пример модернизации бесцентровых круглошлифовальных станков

Наружное бесцентровое шлифование — один их прогрессивных технологических методов обработки деталей типа тел вращения. Их широкое применение объясняется простотой конструкции станка и возможностью полной автоматизации процесса шлифования. Основные направления модернизации станков выпуска 1950—1980 гг. следующие [5]:

• автоматизация подвода (отвода) в цикле рабочей подачи бабки шлифовального круга;

• автоматизация подналадки;

• балансирование шлифовального круга на станке;

• автоматизация процесса правки;

• совершенствование элементов системы ЧПУ;

• повышение долговечности работы станков.

Автоматизация подвода (отвода) в цикле рабочей подачи бабки шлифовального круга.

Модернизация осуществляется на станке для шлифования проката в целях устранения наружных дефектов проката в трубопрокатных цехах.

При регулировании на немодернизированном станке усилия шлифования вручную, «по звуку» с помощью штурвала, закрепленного на винте механизма подачи ведущего круга, отвод последнего осуществляется практически лишь при нагрузках, граничащих с заклиниванием, а подвод — при нагрузках, близких к нагрузке холостого хода. В целях обеспечения постоянной глубины шлифования предложена система автоматического регулирования усилия шлифования на бесцентровом круглошлифовальном станке модели ВШ-149.

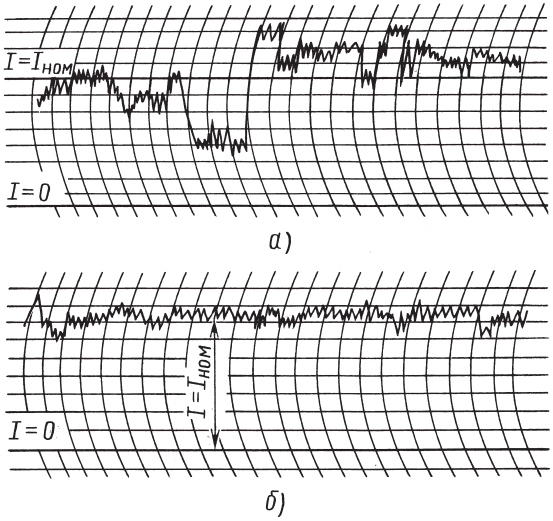


Рис. 23.48. Экспериментальные осциллограммы, характеризующие изменение нагрузки двигателя шлифовального круга при ручном (*а*) и автоматическом (*б*) регулировании усилия в процессе шлифования труб

Исполнительный орган системы автоматического регулирования включает электродвигатель постоянного тока, редуктор и клиноременную передачу от вала редуктора к винту механизма подачи ведущего круга, так как бабка шлифовального круга при принятой на станке компоновке неподвижна. В качестве регулируемой величины принята сила тока статора электродвигателя привода шлифовального круга.

Сопоставление экспериментальных осциллограмм, характеризующих изменение нагрузки двигателя шлифовального круга при ручном (рис. 23.48, *а*) и автоматическом (рис. 23.48, *б*) регулировании усилия в процессе шлифования труб диаметром 68 мм, показывает, что при автоматическом регулировании нагрузка на двигатель шлифовального круга значительно выравнивается. Следовательно, в этом случае с поверхности трубы снимается более равномерный слой металла, при этом уменьшается число проходов, необходимое для полного удаления дефектов, что повышает производительность труда и уменьшает расход металла при шлифовании.

Модернизация отдельных узлов бесцентровых круглошлифовальных станков для *обеспечения подвода (отвода) бабки шлифовального круга*. На станках, в которых подача осуществляется методом качания корпуса шлифовальной бабки, система менее чувствительна к тепловым деформациям, зазорам в передаточных механизмах и другим подобным погрешностям благодаря редукции, получаемой от разности плеч: механизм подачи — ось поворота, плечо равно (2,5...3)L; ось шлифовального круга — ось поворота, плечо равно L.

Если подвод шлифовального круга к детали осуществляется посредством перемещения бабки шлифовального круга или бабки ведущего круга (при компоновке станка с неподвижной бабкой шлифовального круга), то она должна перемещаться поступательно по направляющим качения, позволяющим обеспечи-

вать малые значения (импульсы) подачи круга на изделие — 0,0003...0,002 мм.

Для осуществления рабочих подач и установочных перемещений применяют шаговые электродвигатели (в последние годы — линейные двигатели).

Автоматизация подналадки бесцентровых круглошлифовальных станков осуществляется благодаря введению в цикл работы станка прибора активного контроля.

Точность обработки обусловлена размером и характером погрешностей обработки и требуемой точностью детали. При необходимости компенсации функциональных (систематических) и некоторых случайных погрешностей рекомендуется установка на станке контрольно-измерительных управляющих устройств (ИУУ). Для автоматической компенсации только систематических погрешностей можно ограничиться применением автоподналадчиков. ИУУ управляют циклом работы станка-автомата; измерительную часть устройства устанавливают в рабочей зоне станка, и она следит за размером детали непосредственно в процессе ее обработки. Устройство выдает команду на прекращение процесса обработки при достижении шлифуемой поверхностью заданного размера. Автоподналадчики выполняют регулирование размерной настройки автомата (подналадку) по результатам измерения обработанных деталей и могут при необходимости выполнять дополнительные функции: сортировку деталей; блокировку станков, выполняющих последующие операции, и др. ИУУ используют, главным образом, при обработке деталей методом врезания, автоподналадчики — при обработке методом напроход. Автоподналадчики при обработке деталей врезанием применяют в тех случаях, когда конструктивно не представляется возможным осуществить контроль в процессе обработки, а также при высокой точности обработки, когда можно измерять обработанные детали выборочно.

По характеру работы управляющие устройства, используемые при модернизации, подразделяют на три группы:

а) контролирующие контакт между кругом и деталями (реле тока и др.). Целесообразно вместо реле тока использовать реле прироста тока как более надежное. На рис. 23.49 показана схема реле прироста тока, собранная на двух стандартных электромагнитных реле. Сигнал с трансформатора тока, пропорциональный току электродвигателя, после выпрямления и фильтрации подается на переменное сопротивление R_2, являющееся делителем напряжения. Ток через реле P_1, обладающее высокой чувствительностью, проходит во время измерения в статоре, так как конденсатор C_2 пропускает только переменную составляющую. Чувствительность реле регулируется в широких пределах сопротивлением R_2. Наименьшее изменение напряжения, от которого происходит срабатывание реле, составляет 0,2 В. Точность выхода на размер в пределах поля допуска на деталь составляет 15...25 мкм без применения прибора активного контроля;

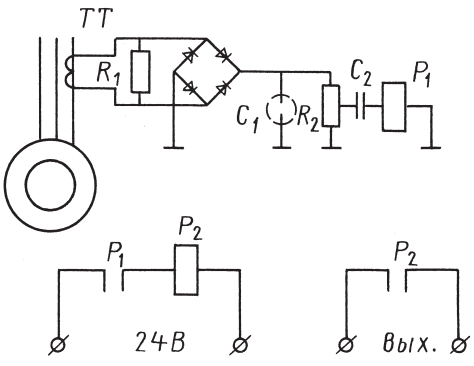


Рис. 23.49. Схема реле прироста тока

б) путевые управляющие устройства, обеспечивающие рабочим органам станка перемещение на определенное расстояние (электрочувствительный упор, путевое управляющее устройство). Точность выхода на размер в пределах поля допуска на деталь составляет 10... 15 мкм без применения прибора активного контроля;

в) силовые устройства, контролирующие появление в кинематических цепях или в рабочем органе установленных нагрузок.

Используют два метода косвенного измерения упругих перемещений систем станок—инструмент—деталь (СИД):

1) измерение относительных перемещений каких-либо двух деталей, входящих своими размерами в виде звеньев в соответствующую размерную или кинематическую цепь системы СИД;

2) измерение упругих деформаций специального звена или звеньев определенной жесткости, включенных в соответствующую размерную цепь системы.

Балансирование шлифовального круга на станке. Виброустойчивость, а следовательно, и точность обработки на станках с широким кругом повышают посредством встройки балансировочного устройства в шлифовальный шпиндельный узел.

Одно из таких устройств для динамической балансировки широких шлифовальных кругов с возможностью встройки в бесцентровый круглошлифовальный станок, разработанное на Московском заводе автоматических линий и специальных станков, показано на рис. 23.50.

Узлы корректировки масс *1* (рис. 23.50, *а*) располагаются вне опор шпинделя *2*. Такая компоновка обеспечивает хороший доступ к балансировочному устройству и не изменяет динамических характеристик шпиндельного узла. Редуктор механизма корректировки масс располагается со стороны свободного торца шпинделя. Редуктор *3* приводится в действие в зависимости от показаний датчика вибраций *4*, регистрируемых блоком измерения вибраций *5*. Балансировочные массы представляют собой два неуравновешенных кольца, встроенных в выточки кулачковой полумуфты и опорного подшипника соответственно со стороны привода и со стороны свободного торца шпинделя.

Принцип работы устройства показан на рис. 23.50, *б*, где $D_{ст}$ — дисбаланс шлифовального круга; $D_{м}$ — дисбаланс общего центра балансировочных масс. Для осуществления балансировки перемещение центров двух корректирующих масс осуществляют в следующей последовательности:

1) перемещают центры корректирующих масс с равными скоростями в одном направлении по дуге окружности *4* из положений *1* и *2* в положения *1′* и *2′*, в результате общий центр корректирующих масс перемещается по дуге окружности *5* с центром на оси вращения ротора из положения *3* в положение *3′*, противоположное фазе дисбаланса центра масс ротора $D_{ст}$;

2) при остаточном дисбалансе больше допустимого перемещают центр одной корректирующей массы при остановленной второй из положения *1′* в положение *1″*, в результате этого общий центр корректирующих масс перемещается по дуге окружности *6* (положение центра которой зависит от положения центров *1′* и *2′* корректирующих масс и от самих этих масс) из положения *3′* в положение *3″*, что уменьшает остаточный дисбаланс;

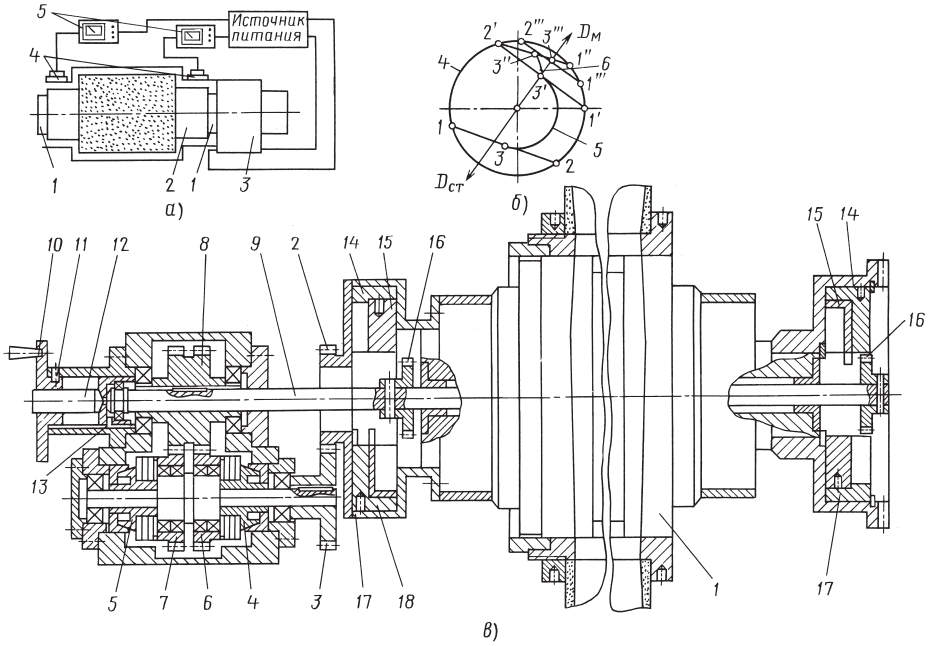


Рис. 23.50. Устройство динамической балансировки портально расположенного широкого шлифовального круга бесцентрового круглошлифовального станка:
а — составные элементы; *б* — принцип работы; *в* — общий вид устройства

3) снова перемещают центры корректирующих масс с равными скоростями в одном направлении из положений *1″* и *2″* в положения *1‴* и *2‴*. В результате общий центр этих масс перемещается по дуге *5* из положения *3″* в положение *3‴*, противоположное фазе дисбаланса центра масс ротора.

Балансирующее устройство содержит (рис. 23.50, *в*) шпиндель *1*, к торцу которого прикреплена ведущая шестерня *2*, зацепляющаяся с колесом *3*. На одном валу с колесом *3* расположены электромагнитные муфты *4* и *5* и шестерни *6* и *7*, постоянно зацепляющиеся с блоком шестерен *8*. В шпоночном отверстии блока шестерен *8* установлен вал *9*, совершающий вращательное движение и осевое перемещение. Осевое перемещение сообщается передачей винт—гайка, состоящей из гайки *10*, зафиксированной от осевого перемещения штифтом *11*, и винта *12*, зафиксированного от вращения штифтом *13*. Корректирующие массы *14* и *15* поочередно зацепляются с зубчатой полумуфтой *16*. Пружинные элементы *17* через промежуточные элементы *18* создают фрикционную связь между корректирующими массами *14* и *15*, а также между корректирующей массой *14* и шпинделем *1*.

Работа устройства состоит в том, что корректирующие массы приводятся в движение от шпинделя *1* посредством ведущей шестерни *2,* колеса *3*, шестерен *6* и *7*, включаемых электромагнитными муфтами *4* и *5* соответственно блока шестерен *8*, вала *9* и полумуфты *16*. Зубчатая полумуфта *16* поочередно вводится в зацепление с зубчатыми полумуфтами корректирующих масс *14* и *15* при вращении гайки *10*. Корректировку масс шпинделя проводят методом направленного поиска. Изменение направления вращения корректирующих масс осуществля-

ется муфтами *4* и *5*. При включенной муфте *4* вал *9* вращается быстрее шпинделя, а при включенной муфте *5* — медленнее. При достижении величины допустимого дисбаланса в одной плоскости коррекции переходят к балансировке во второй плоскости коррекции. Это достигается перемещением вала *9* от передачи винт—гайка.

Автоматизация процесса правки. На бесцентровых круглошлифовальных станках имеются два абразивных круга: шлифовальный и ведущий.

Для модернизации станков предлагается проводить типовую комплексную автоматизацию процесса правки при частичном затуплении круга в несколько этапов.

1. *Своевременная подача команды на правку.* Необходимость правок определяется периодом стойкости шлифовального круга между двумя соседними правками. Выбор критериев стойкости шлифовального круга зависит от технических требований к обработке.

В процессе шлифования по мере затупления круга происходят: а) изменение высоты микронеровностей, эффективной мощности шлифования; б) увеличение погрешности обработки, размера износных площадок на рабочей поверхности круга, нормальной составляющей сил резания, амплитуды колебаний; в) ухудшение качества шлифования; г) появление шума и др.

Датчики, основанные на обработке данных по одному из показателей, могут быть использованы для модернизации станков. Для подачи команды на правку в станках, работающих как напроход, так и врезанием, в отдельных случаях предлагается устанавливать реле времени. Настройку выдержки времени должен проводить наладчик на основании опытных данных, полученных в результате эксплуатации.

2. *Подвод алмаза к шлифовальному кругу.* Цель — съем заранее установленного слоя абразива, необходимого для восстановления режущей поверхности шлифовального круга. Применяют дискретные системы, в которых подвод алмаза к кругу осуществляется после подачи команды на правку. Задача состоит в компенсации износа шлифовального круга и правящего инструмента, тепловых и силовых деформаций за период между соседними правками. Подача алмаза производится на постоянную величину (дозированная подача) с помощью специального механизма, установленного на устройстве правки. Он может быть использован и при модернизации. Для подачи алмаза на круг может применяться храповой механизм, работающий от гидроцилиндра. Значение подачи алмаза настраивается регулируемым упором, который ограничивает ход золотника с собачкой, перемещающего храповое колесо на установленное число зубьев.

3. *Цикл процесса правки.* Исходные положения устройства правки фиксируются бесконтактными конечными выключателями; подача алмаза в крайних положениях производится от механизма подачи алмаза.

4. *Выход на размер после правки*. Для проведения правки круг отводится от шлифуемых деталей. При подводе правленого шлифовального круга к деталям возможен их брак. В целях избежания брака используются специальные устройства (приборы активного контроля, реле прироста тока и др.).

Непрерывная правка шлифовального круга. Ведение непрерывной правки кругов во время шлифования на бесцентровых круглошлифовальных стан-

ках является эффективным средством сокращения вспомогательного времени (при шлифовании напроход) и времени обработки (при врезном шлифовании). В этом случае глубина врезания алмаза не должна превышать допуск на размер изделия. При шлифовании напроход пиноль с инструментом перемещается вдоль круга в том же направлении, что и заготовка, но с меньшей скоростью. Во время обратного хода пиноль отводится от круга. После возвращения ее в исходное положение подается команда на врезание, и процесс правки продолжается. При обработке размер изделия непрерывно контролируется измерительным прибором: при выходе размера изделия за поле допуска дается команда на изменение подачи, а также на изменение хода (глубины врезания) пиноли с инструментом. Данный метод правки можно рекомендовать только при предварительной обработке изделий.

Автоматизация поворота алмаза. Для обеспечения равномерного износа алмаза и получения новых режущих кромок при правке алмазом или алмазно-металлическим карандашом необходимо периодически совершать поворот вокруг оси.

Известен метод модернизации автоматического поворота оправки с алмазом после каждой правки. К державке алмаза *2* (рис. 23.51) с помощью винтов *4* прикреплены рабочие концы термопары *1*, свободные концы которой соединены с регистрирующим электрическим прибором *7,* включающим механизм поворота алмаза *5* перед следующей правкой абразивного круга *3*. Этот механизм связан с конечным выключателем *6*, который фиксирует исходное положение устройства правки в направлении, параллельном оси шлифовального круга.

При правке абразивного круга затупленным алмазом происходит повышенное тепловыделение, которое фиксируется термопарой и передается на регистрирующий электрический прибор; при достижении устройством правки исходного положения прибор даст команду на поворот алмаза. Вместо механизма автоматического поворота возможен ручной привод с сигнализатором о состоянии алмаза.

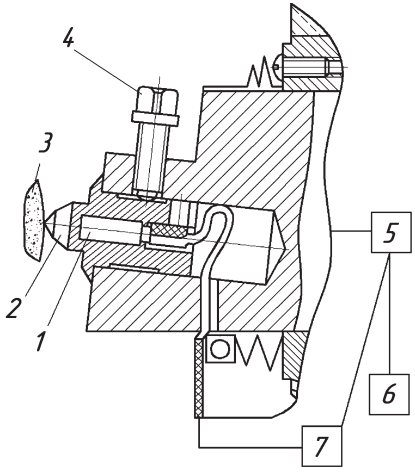


Рис. 23.51. Блок-схема устройства для подачи команды на поворот алмаза в устройстве правки

Совершенствование элементов систем ЧПУ.

Замена фотосчитывающих устройств специальными электронными устройствами. Наиболее дешевым способом адаптации систем ЧПУ, в том числе на бесцентровых круглошлифовальных станках, к современным технологиям является их модернизация, позволяющая заменить бумажные и магнитные носители информации электронными; исключить ручной ввод программ на рабочих местах; расширить функциональные возможности систем ЧПУ; интегрировать разнородные системы автоматизации (CAD, CAM, CAE, MRP/ERP).

Для решения этих задач могут использоваться, в частности, миниатюрные элек-

тронные устройства, позволяющие переносить управляющую программу (УП) от ПЭВМ к станку и обратно. Кроме этого, такие устройства используются для отладки УП, расширения объема памяти станков с ЧПУ и решения других задач.

Перевод станков на полное или частичное управление от систем ЧПУ. Известны примеры, когда на бесцентровый круглошлифовальный станок устанавливают систему ЧПУ с двумя или тремя управляемыми осями, например для автоматизации правки ведущего круга, что позволяет отказаться от копирной системы.

Повышение долговечности работы станков. При эксплуатации бесцентровых круглошлифовальных станков, работающих с большими дисбалансами кругов, появляется необходимость в регулировании рабочего зазора шпиндельных опор, особенно на обдирочных и черновых операциях, а затем уже — в модернизации. Это относится к многоклиновым гидродинамическим опорам. При регулировании самоустанавливающиеся вкладыши слегка поджимают к шейкам, а затем стопорят регулировочные винты. Необходимый рабочий зазор 0,02…0,03 мм образуется в результате деформаций вкладышей и их опор при возникновении гидродинамического эффекта. Гидростатические и аэростатические подшипники не требуют регулирования.

Как правило, большинство бесцентровых круглошлифовальных станков имеют опорные ножи, оснащенные твердым сплавом. Пластину твердого сплава закрепляют в пазах ножа припоями. При изготовлении ножей большой длины, особенно для станков с широкими кругами, во избежание сильной поводки ножа при пайке рекомендуется применять низкотемпературные припои (например, ПОС-40). Для обеспечения качественной пайки необходимо гальваническим способом нанести на пластину слой меди толщиной 0,03…0,05 мм. После припайки нож обрабатывают по базовым поверхностям и по плоскости контакта с обрабатываемыми деталями в соответствии с требованиями чертежа.

Важным средством повышения долговечности работы бесцентровых круглошлифовальных станков является защита направляющих, ходовых винтов, штоков гидравлических цилиндров и других элементов, определяющих точность станка и предохраняющих от попадания эмульсии, шлама и абразива. Целесообразно на направляющие механизмов подачи шлифовального и ведущего кругов, устройств правки устанавливать так называемые гармошки.

Для фиксации положения подвижных узлов станка целесообразно заменять контактные конечные выключатели на бесконтактные датчики типа БВК-24. Благодаря применению бесконтактных датчиков исключается разворот устройств правки в крайних положениях.

На рис. 23.52 приведены статистические данные по целям модернизации станочного оборудования в РФ. Наибольшая доля станков (~60%) модернизируется в целях повышения (восстановления) точности, расширения технологических возможностей и улучшения условий обслуживания.

Цели модернизации (рис. 23. 53) достигаются: за счет замены систем ЧПУ, приводов, датчиков обратной связи (около 48%), а также замены тяговых устройств, приводов подач, оснащения диагностическими устройствами (32%). Данные получены на основе анализа станкозаводов РФ, активно занимающихся модернизацией оборудования следующих типов (ручных и с ЧПУ): токарных и

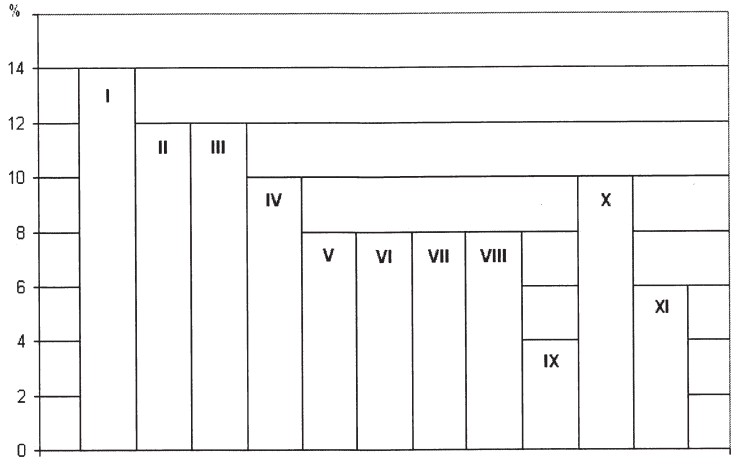


Рис. 23.52. Цели модернизации станочного оборудования в РФ:
I — замена систем ЧПУ; *II* — замена приводов; *III* — замена датчиков обратной связи; *IV* — замена направляющих; *V* — замена тяговых устройств; *VI* — замена приводов подач; *VII* — оснащение дополнительными узлами; *VIII* — оснащение диагностическими утсройствами; *IX* — введение защиты направляющих; *X* — обеспечение контроля качества на станке; *XI* — другие изменения

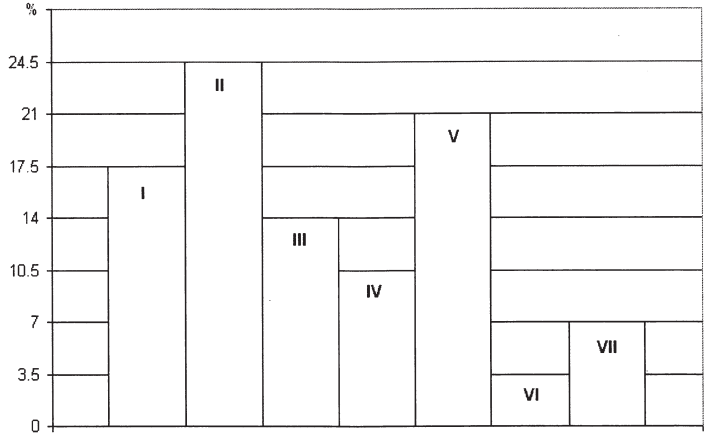


Рис. 23.53. Направления модернизации станочного оборудования в РФ:
I — повышение производительности; *II* — повышене (восстановление) точности; *III* — расширение технологических возможностей; *IV* — улучшение условий обслуживания; *V* — замена устаревших комплектующих изделий; *VI* — снижение расходов на изготовление изделий при сохранении паспортных данных станка; *VII* — другие задачи

токарно-карусельных; сверлильных; горизонтально-расточных; координатно-расточных; резьбообрабатывающих; протяжных, круглошлифовальных, плоскошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных; внутришлифовальных; зуборезных и зубодолбежных; зубошлифовальных; затыловочных; заточных; многоцелевых и других станков.

Список литературы

1. **Абрамов О.В., Хорбенко И.Г., Швегла Ш.** Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. **Автоматические** роторные линии / Н.А. Клусов, Н.В. Волков, В.И. Золотухин и др. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
3. **Альперович Т.А., Константинов К.Н., Шапиро А.Я.** Конструкция шлифовальных станков. М.: Высшая школа, 1989. 288 с.
4. **Амитан Г.Л., Байсупов И.А., Барон Ю.М.** Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / под общ. ред. В.А. Волосатова. Л.:Машиностроение, 1988. 719 с.
5. **Ашкинази Я.М.** Повышение эффективности применения модернизированных бесцентровых круглошлифовальных станков // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 5—8.
6. **Борьба** с шумом на производстве: справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др. / под общ. ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1985. 400 с.
7. **Брук Н.В., Черпаков Б.И.** Гибкие механообрабатывающие производственные системы. М.: Высшая школа, 1987. 103 с.
8. **Бушуев В.В., Подзоров П.В.** Особенности проектирования оборудования с параллельной кинематикой // СТИН. 2004. № 4. С. 3—10; № 5. С. 3—8.
9. **Винников И.З**. Сверлильные станки и работа на них: учебник для СПТУ. М.: Высшая школа, 1988. 256 с.
10. **Волосатов В.А.** Ультразвуковая обработка. Л.: Лениздат, 1973. 248 с.
11. **Гапонкин В.А., Лукашев Л.К., Суворова Т.Г.** Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.
12. **Гибкие** производственные комплексы / под ред. П.Н. Белянина и В.А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
13. **Гибкие** производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы: в 14 кн. Кн. 1 / Б.И. Черпаков, И.В. Брук. Гибкие механообрабатывающие производственные системы / под ред. Б.И. Черпакова. М.: Высшая школа, 1989. 127 с.
14. **Иванов Г.М., Черпаков Б.И., Свешников В.К., Резников М.Л.** Новая установка для водоструйного резания // СТИН. 2001. №8. С. 28—32.
15. **Иванов Г.М., Свешников В.К., Черпаков Б.И.** Оборудование для водоструйного резания // СТИН. 2000. № 4. С. 28—32; №5. С. 34—40.
16. **Иоффе В.Ф., Коренблюм М.В., Шавырин В.А.** Автоматизированные электроэрозионные станки. Л.: Машиностроение, 1984. 231 с.
17. **Кашепава М.Я**. Современные координатно-расточные станки. М.: Машгиз, 1961. 280 с.
18. **Калашников С.Н., Калашников А.С.** Изготовление зубчатых колес. М.: Высшая школа, 1986. 286 с.
19. **Кедринский В.Н., Писманик К.М.** Станки для нарезания конических зубчатых колес. М.: Машгиз, 1958. 534 с.
20. **Колка И.А., Кувшинский В.В.** Многооперационные станки. М.: Машиностроение, 1983. 136 с.
21. **Конструкция** и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов: учеб. пособие для СПТУ / Л.Н. Грачев, В.Л. Косовский, А.Н. Ковшов и др. М.: Высшая школа, 1986. 288 с.
22. **Конструкция,** наладка и эксплуатация агрегатных станков и автоматических линий / Л.С. Брон, С.Н. Власов, Г.М. Годович и др. М.: Высшая школа, 1985. 384, 647 с.

23. **Косовский В.Л.** Гибкие производственные модули / под ред. Б.И. Черпакова. М.: Высшая школа, 1989. 111 с.
24. **Кудряшов А.А.** Станки инструментального производства. М.: Машиностроение, 1968. 380 с.
25. **Кузнецов Ю.Н.. Маслов А.Р., Бойков А.Н.** Оснастка для станков с ЧПУ: справочник. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
26. **Куликов С.И., Волоценко П.В. и др.** Сверлильные и хонинговальные станки. М.: Машиностроение, 1977.
27. **Лазерная** резка металлов: учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов; под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1988. 127 с.
28. **Локтева С.Е.** Станки с программным управлением и промышленные роботы. М.: Машиностроение, 1986. 320 с.
29. **Лоскутов В.В.** Сверлильные и расточные станки. М.: Машиностроение, 1981. 128 с.
30. **Любарский В.Я.** Устройство и эксплуатация токарных автоматов: учебник для техн. училищ. М.: Высшая школа, 1985. 199 с.
31. **Маеров А.Г.** Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий. М.: Машиностроение, 1986. 368 с.
32. **Марголит Р.Б.** Наладка станков с ПУ. М.: Машиностроение, 1983. 280 с.
33. **Марголит Р.В.** Эксплуатация и наладка станков с программным управлением и промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1991. 271 с.
34. **Марков А.И.** Ультразвуковая обработка материалов: Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
35. **Маталин А.А., Дашевский Т.Е., Княжитский И.М.** Многооперационные станки. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.
36. **Металлорежущие** станки / Н.С. Ачеркан, А.А. Гаврюшин, В.В. Ермаков и др.; под ред. И.С. Ачеркана. М.: Машиностроение, 1965. Т. 1. 764 с.; Т. 2. 628 с.
37. **Металлорежущие** станки и станочные системы: учебник: в 2 т. Т. 1. Станки общего назначения / под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, Ф.Ю. Свитковского. Ижевск: ИжГТУ, 1999. 240 с.
38. **Металлорежущие** станки и станочные системы: учебник: в 2 т. Т. 2. Станки с числовым программным управлением. Гибкие производственные системы и автоматические линии / под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, Ф.Ю. Свитковского. Ижевск: ИжГТУ, 2001. 260 с.
39. **Ничков А.Г.** Резьбонарезные станки. М.: Машиностроение, 1979. 143 с.
40. **Ничков А.Г.** Фрезерные станки. М.: Машиностроение, 1984. 160 с.
41. **Пекелис Г.Д., Гельберг Б.Т.** Технология ремонта металлорежущих станков. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1984. 240 с.
42. **Переналаживаемая** технологическая оснастка / под ред. Д.И. Полякова. М.: Машиностроение, 1988. 256 с.
43. **Писманик КМ., Шейко Л.И., Денисов В.М.** Станки для обработки конических зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1993. 184 с.
44. **Подзоров П.В.** Механизмы параллельной кинематики в станкостроении: справочник // Инженерный журнал. 2005. №8 (приложение).
45. **Полторацкий Н.Г.** Приемка металлорежущих станков / под ред. Н.С. Ачеркана. М.: Внешторгиздат, 1969. 1158 с.
46. **Попилов Л.Я.** Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов: справочник. М.: Машиностроение, 1982. 399 с.
47. **Попов С.А.** Заточка и доводка режущего инструмента: учебник для сред. ПТУ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1986. 223 с.
48. **Попов С.А., Белостоцкий ВЛ.** Электроабразивная заточка режущего инструмента: учебник для СПТУ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 175 с.
49. **Применение** и конструктивные особенности токарных многоцелевых станков / Ю.М. Ельганин, А.М. Итин, В.Н. Корякин и др. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 48 с.
50. **Производство** зубчатых колес: справочник / под общей ред. Б.А. Тайца. М.: Машиностроение, 1990. 464 с.
51. **Проектирование** и расчет металлорежущих станков на ЭВМ: учеб. пособие для вузов / О.В. Таратынов, О.И. Аверьянов, В.В. Клепиков и др. М.: МГИУ, 2002. 384 с.
52. **Рашкович П.М.** Обработка на зубофрезерных станках с оперативной системой ЧПУ: учебное пособие для слушателей заочных курсов повышения квалификации ИТР по обработке на станках с программным управлением. М.: Машиностроение, 1984. 56 с.

53. **Рейбах С.Ю.** Современные электроэрозионные вырезные станки с ЧПУ для малых предприятий // СТИН. 1992. № 1. С. 12—14.
54. **Сафронович АЛ.** Карусельные станки. М.: Машиностроение, 1983. 263 с.
55. **Сергиевский Л.В.** Наладка и эксплуатация станков с устройствами ЧПУ. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
56. **Скиженок В.Ф., Лемешонок В.Д., Цегельник В.П.** Высокопроизводительное протягивание. М.: Машиностроение, 1990. 240 с.
57. **Справочник** по технологии резания материалов: в 2 кн. / редактор нем. изд. Г. Шпур, Г. Штеферле: пер. с нем. / под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 1985. Кн. 1. 616 с.; кн. 2. 688 с.
58. **Станочное** оборудование автоматизированного производства. Т. 2 / под ред. В.В. Бушуева. М.: Станкин. 1994. 556 с.
59. **Станки** с числовым программным управлением / В.А. Лещенко, Н.А. Богданов, Н.В. Вайнштейн и др. / под ред. В.А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1988. 568 с.
60. **Тихомиров А.В., Любовицкий В.П., Хачатрян Г.Л.** Машины для лазерной резки листов. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. 45 с.
61. **Токарные** станки. А.А. Модзелевский, А.А. Мущинкин, С.С. Кедров и др. М.: Машиностроение, 1973. 279 с.
62. **Устройство**, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и атоматических линий / С.Н. Власов, Г.М. Годович, Б.И. Черпаков и др. М.: Машиностроение, 1983. 436 с.
63. **Ультразвуковые** преобразователи / Е. Кикучи, К. Фокусима, Т. Удзуки и др. М.: Мир, 1972. 424 с.
64. **Федотенок А.А.** Кинематическая структура металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1970. 407 с.
65. **Фотеев Н.К.** Технология электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1980. 180 с.
66. **Фроман Б., Лезаж Ж.** ГПС в механической обработке / под ред. В.А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1988. 120 с.
67. **Черпаков Б.И.** Эксплуатация автоматических линий. М.: Машиностроение, 1990. 304 с.
68. **Шарин Ю.С.** Обработка деталей на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1983. 117 с.
69. **Шарин Ю.С.** Технологическое обеспечение на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1986. 174 с.
70. **Шатунова В.И.** Современное оборудование и технология лазерной резки. М.: ВНИИТЭМР, 1990. 56 с.
71. **Шашков Е.В., Смирнов В.К.** Устройство фрезерно-расточных станков. М.: Высшая школа, 1986. 191 с.
72. **Шурков В.Н.** Основы автоматизации производства и промышленные роботы. М.: Машиностроение, 1989. 240 с.
73. **Электрофизические** и электрохимические методы обработки материалов: учебное пособие / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова. Т. I. Обработка материалов с применением инструмента / под ред. В.П. Смоленцева. М.: Высшая школа, 1983. 247 с.
74. **Якухин В.Г., Стааров В.А.** Изготовление резьбы: справочник. М.: Машиностроение, 1989. 192 с.
75. **Яцкевич А.А., Прокопенко В.А.** Системы гидроавтоматики для высокоточных тяжелых станков // СТИН. 1985. № 1. С. 30—32.
76. **Weck M.** Werkzeugmaschinen. B. 4. Düsseldorf. VDj-VerlagGmbH, 1979. B. 1. 320 S.; B. 2. 322 S.; B. 3. 400 S.; B. 4. 166 S.

Содержание

Предисловие 3

Глава 1. Токарные станки 4
1.1. Токарно-винторезные станки 4
1.1.1. Общие сведения 4
1.1.2. Компоновка, основные узлы и характерные параметры 5
1.1.3. Конструкция станков 6
1.1.4. Токарно-винторезный станок мод. 16К20 12
1.2. Токарные станки с ЧПУ и многоцелевые станки 21
1.2.1. Общие сведения 21
1.2.2. Компоновка токарных станков с ЧПУ 23
1.2.3. Конструктивные особенности 25
1.2.4. Токарные многоцелевые станки 36
1.2.5. Токарный патронно-центровой станок с ЧПУ мод. 17А20ПФ40 45

Глава 2. Токарно-револьверные станки 53
2.1. Общие сведения 53
2.2. Токарно-револьверный станок мод. 1Г340 56

Глава 3. Токарные автоматы и полуавтоматы (кулачковые) 63
3.1. Общие сведения 63
3.2. Фасонно-отрезные автоматы 64
3.3. Автоматы продольного точения 68
3.4. Токарно-револьверные автоматы 72
3.4.1. Наладка токарно-револьверного автомата 80
3.5. Многошпиндельные токарные автоматы 86
3.6. Одношпиндельные токарные полуавтоматы 96
3.7. Многошпиндельные токарные полуавтоматы 101

Глава 4. Токарно-карусельные станки 109
4.1. Общие сведения 109
4.2. Конструкции характерных узлов 114

Глава 5. Фрезерные и многоцелевые станки для обработки корпусных деталей . . . 120
5.1. Общие сведения 120
5.2. Горизонтально-фрезерные станки 121
5.3. Другие типы фрезерных станков 126
5.4. Фрезерные станки с ЧПУ 129
5.5. Приспособления для фрезерных станков 131
5.6. Многоцелевые станки для обработки корпусных и плоских деталей 132

Глава 6. Сверлильные станки ... 145
6.1. Вертикально-сверлильные станки ... 146
6.2. Радиально-сверлильные станки ... 156

Глава 7. Расточные станки ... 164
7.1. Горизонтально-расточные станки ... 164
7.2. Координатно-расточные станки ... 174
7.3. Отделочно-расточные станки ... 180

Глава 8. Резьбообрабатывающие станки ... 190
8.1. Общие сведения ... 190
8.2. Резьбонакатные станки ... 191
8.3. Станки для нарезания резьбы резцами и резьбонарезными головками ... 192
8.4. Станки для нарезания резьбы метчиками ... 196
8.5. Резьбофрезерные станки ... 198
8.6. Резьбошлифовальные станки ... 200

Глава 9. Протяжные станки ... 206
9.1. Общие сведения ... 206
9.2. Горизонтально-протяжные станки для внутреннего протягивания ... 208
9.3. Вертикально-протяжные станки для внутреннего протягивания ... 210
9.4. Вертикально-протяжные станки для наружного протягивания ... 211
9.5. Протяжные станки непрерывного действия ... 216

Глава 10. Станки для электрофизической, электрохимической и водоабразивной обработки ... 217
10.1. Станки для электроэрозионной обработки ... 217
10.1.1. Общие сведения ... 217
10.1.2. Электроэрозионные копировально-прошивочные станки ... 223
10.1.3. Особенности электроэрозионных вырезных станков ... 226
10.1.4. Электроконтактная обработка ... 234
10.2. Ультразвуковые станки ... 236
10.3. Станки для лазерной обработки ... 247
10.3.1. Общие сведения ... 247
10.3.2. Технология лазерной обработки металлов ... 250
10.3.3. Технологическое оборудование для лазерной резки ... 254
10.4. Станки для водоабразивной обработки ... 262
10.4.1. Основные особенности водоабразивной обработки ... 262
10.4.2. Составные части и характеристики оборудования ... 264

Глава 11. Станки для абразивной обработки (шлифовальные станки) ... 270
11.1. Общие сведения ... 270
11.2. Компоновки и конструкции шлифовальных станков ... 274
11.2.1. Плоскошлифовальные станки ... 275
11.2.2. Круглошлифовальные станки ... 281
11.2.3. Бесцентрово-шлифовальные станки ... 286
11.2.4. Внутришлифовальные станки ... 293

Глава 12. Зубообрабатывающие станки для обработки цилиндрических колес ... 299
12.1. Станки для обработки зубчатых колес лезвийным инструментом ... 299
12.1.1. Зубофрезерные станки ... 302
12.1.2. Зубодолбежные станки ... 314
12.1.3. Станки для чистовой обработки зубчатых колес ... 320
12.1.4. Особенности зубообрабатывающих станков с ЧПУ ... 323
12.2. Зубошлифовальные станки ... 334

12.2.1. Зубошлифовальные станки, работающие абразивным червячным кругом 336
12.2.2. Зубошлифовальные станки, работающие методом единичного деления 338

Глава 13. Станки для обработки конических колес с прямым и дуговым зубьями . 342
13.1. Общие сведения 342
13.2. Кинематические структуры станков для обработки конических колес с прямым и дуговым зубьями 353
13.3. Станки для обработки прямозубых конических колес. 357
13.4. Станки для обработки конических колес с дуговым зубом 364

Глава 14. Затыловочные станки 373
14.1. Общие сведения. Вопросы формообразования 373
14.2. Кинематические структуры станков 375
14.3. Кинематическая настройка затыловочного станка мод. 1Е811 378

Глава 15. Заточные станки 382
15.1. Типы заточных станков. 382
15.2. Универсально-заточные станки. 382
15.3. Основные схемы заточки наиболее распространенного режущего инструмента на универсально-заточных станках 386
15.4. Станки для заточки зуборезного инструмента 390

Глава 16. Отрезные станки. 395

Глава 17. Агрегатные станки 400
17.1. Классификация и типовые компоновки 401
17.2. Унифицированные узлы агрегатных станков. 403

Глава 18. Автоматические линии 410
18.1. Основные типы автоматических линий 410
18.2. Классификация АЛ. 411
18.3. Автоматические линии для обработки корпусных деталей 413
18.4. Автоматические линии для обработки деталей типа тел вращения. 415
18.5. Комплекс автоматических линий для обработки поршней автомобилей . 419
18.6. Автоматизация обработки зубчатых колес. 422
18.7. Роторные автоматические линии 424
18.8. Переналаживаемые автоматические линии 426

Глава 19. Гибкие производственные системы 427
19.1. Классификация и структурные схемы ГПС. 428
19.2. Структурно-компоновочные схемы ГПС для механической обработки . . . 432
19.3. Гибкие производственные модули (ГПМ). 436
19.4. Гибкие автоматизированные участки (ГАУ) 441
19.5. Гибкие автоматические линии (ГАЛ) 442
19.6. Управление ГПС 445
19.7. Автоматизированные транспортно-складские системы ГПС (АТСС) 451
19.8. Системы контроля качества продукции 454
19.9. Особенности построения технологических процессов в условиях ГПС . . . 455

Глава 20. Станочное оборудование на основе механизмов параллельной структуры 459
20.1. Общие сведения 459
20.2. Типовые структуры 461

20.3. Состав и основные узлы исполнительных механизмов 470
20.4. Конструкции типовых узлов 472
20.5. Исполнительные приводы и системы контроля параметров 476

Глава 21. Сверхточные станки 477
21.1. Общие сведения 477
21.2. Методы обработки 478
21.3. Специфические особенности станков 482
21.4. Особенности конструкций важнейших узлов 488
21.5. Методы испытаний сверхточных станков 492

Глава 22. Станки для высокоскоростного резания 493
22.1. Общие сведения 493
22.2. Особенности процесса высокоскоростной обработки 494
22.3. Особенности станков для высокоскоростной обработки. 500

Глава 23. Сертификация, испытания, исследования, эксплуатация, ремонт и модернизация оборудования. 504
23.1. Цели и задачи испытаний оборудования 504
23.2. Сертификация оборудования. 504
23.3. Приемосдаточные испытания оборудования 505
23.3.1. Установка и выверка станков 505
23.3.2. Предварительное опробование станков 505
23.3.3. Испытания станков на холостом ходу 506
23.3.4. Испытания станков под нагрузкой 508
23.3.5. Проверка станков на точность 508
23.3.6. Испытание станков на жесткость 508
23.3.7. Испытание станков на виброустойчивость 510
23.3.8. Дополнительные испытания станков с ЧПУ 510
23.4. Испытания станков на точность 511
23.5. Исследование шумовых характеристик станков 523
23.6. Исследование динамических характеристик станков 527
23.7. Основы эксплуатации, ремонт и модернизация оборудования 537
23.7.1. Требования и правила эксплуатации и обслуживания оборудования. Установка станков (фундамент, виброизоляция) . . . 537
23.7.2. Организация ремонта оборудования, категории ремонтной сложности 541
23.7.3. Ремонт характерных деталей 549
23.7.4. Модернизация станков 563
23.7.4.1. Общие сведения 563
23.7.4.2. Направления модернизации станков различных типов . . . 567
23.7.4.3. Пример модернизации бесцентровых круглошлифовальных станков 568

Список литературы 577

Учебное издание

Бушуев Владимир Васильевич,
Еремин Аркадий Васильевич,
Какойло Александр Александрович и др.

Металлорежущие станки

В 2 томах
Том 2

Редактор *Е.Д. Макаренко, Г.Н. Сидорова*
Переплет художника *Н.А. Свиридовой*
Верстка *В.В. Дёмкин*
Корректор *Л.Д. Амелина*

Сдано в набор 14.05.11. Подписано в печать 15.08.11.
Формат 70×100/16. Бумага офсетная. Гарнитура PT Serif.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 47,45. Уч.-изд. л. 47,9.
Тираж 1000 экз.
Заказ

ООО «Издательство Машиностроение»
107076, Москва, Стромынский пер., 4
www.mashin.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством представленного
оригинал-макета в ГУП ППП «Типография «Наука» РАН.
121099, Москва, Шубинский пер., 6.

ISBN 978-5-94275-595-9