

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации  
и переподготовки кадров

Кафедра «Обработка материалов давлением»

**А. П. Лепший, Н. А. Лепшая**

# **ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

**КУРС ЛЕКЦИЙ  
для слушателей специальности 1-59 01 01  
«Охрана труда в машиностроении  
и приборостроении»  
заочной формы обучения**

Гомель 2014

УДК 621.002+681.2(075.8)  
ББК 34.5+34.96я73  
Л48

*Рекомендовано кафедрой «Обработка материалов давлением»  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 24.02.2014 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Технология машиностроения» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *М. П. Кульгейко*

**Лепший, А. П.**

Л48      Технология машиностроения и приборостроения : курс лекций для слушателей специальности 1-59 01 01 «Охрана труда в машиностроении и приборостроении» заоч. формы обучения / А. П. Лепший, Н. А. Лепшая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 101 с. Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены следующие разделы: основы технологии машиностроения, этапы построения технологического процесса изготовления детали, технологические методы и процессы производства изделий.

Для слушателей специальности 1-59 01 01 «Охрана труда в машиностроении и приборостроении» заочной формы обучения ИПК и ПК.

**УДК 621.002+681.2(075.8)  
ББК 34.5+34.9я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Основы технологии машиностроения.....	7
1.1. Основные понятия и положения.....	7
1.2. Виды (типы) производства и характеристика их технологических процессов.....	14
1.3. Основные факторы, влияющие на характер технологического процесса.....	17
1.4. Нормирование технологических операций и структура технологических операций.....	19
2. Этапы построения технологического процесса изготовления детали.....	27
2.1. Выбор маршрута обработки поверхностей детали.....	27
2.2. Проектирование технологического маршрута изготовления детали.....	28
2.3. Проектирование технологических операций.....	30
2.4. Определение припусков на обработку.....	30
2.5. Определение промежуточных и исходных размеров заготовки.....	34
2.6. Выбор оборудования, приспособлений, инструментов.....	35
3. Технологические методы и процессы производства изделий.....	36
3.1. Получение заготовок для изготовления деталей машин.....	36
3.2. Предварительная обработка заготовок.....	43
3.3. Технология изготовления деталей класса валы.....	54
3.4. Технология изготовления втулок.....	90
3.5. Технология изготовления корпусных деталей.....	102
3.6. Технология изготовления зубчатых колес.....	113
Литература.....	127

## Введение

Машиностроение определяет технический прогресс любого государства и оказывает решающее влияние на жизненный уровень людей.

Технология (в переводе с греческого *techne* - искусство, мастерство, умение; *logos* - слово, учение) - это наука о способах воздействия на сырье, материалы и полуфабрикаты соответствующими орудиями производства, разрабатывающая приемы и способы на основе достижений науки и техники.

Отрасль науки, занимающаяся исследованием закономерностей технологических процессов изготовления машиностроительных изделий, с целью использования результатов изучения для обеспечения требуемого качества и количества изделий с наивысшими технико-экономическими показателями, называется технологией машиностроения.

Объектом технологии машиностроения является технологический процесс, а предметом - установление и исследование внешних и внутренних связей, закономерностей технологического процесса. Только на основе их глубокого изучения возможно построение прогрессивных технологических процессов, обеспечивающих изготовление изделий высокого качества с минимальными затратами.

Современная технология развивается по следующим основным направлениям:

- создание новых материалов;
- разработка новых технологических принципов, методов, процессов, оборудования;
- механизация и автоматизация технологических процессов, устраняющая непосредственное участие в них человека.

Формирование технологии машиностроения как отрасли знания началось с появлением крупного машиностроения.

В прошлом технология машиностроения получила наибольшее развитие в оружейных мастерских и заводах. Знаменитая Царь-пушка, отлитая и изготовленная мастером Андреем Чоховым в 1587 г., сохранилась до наших дней. В 1615 г. в России была изготовлена первая пушка с нарезным стволом. В 1632 г. около Тулы были построены заводы для производства литых пушек, стволы которых выполняли сверлением и растачиванием.

В эпоху Петра I значительный вклад в технологию машиностроения был внесен А.К. Нартовым (1680 - 1756 гг.), разработавшим ряд технологических процессов изготовления артиллерийского и стрелкового оружия, постройки кораблей и создавшего для этого оригинальные станки и инструменты, принципиальные схемы которых используются и в наше время. Нартовым создан первый в мире токарный станок с механическим суппортом.

Работники Тульского оружейного завода: М.В. Сидоров, Я.Н. Батищев и П.Д. Захава усовершенствовали технологию оружейного производства и создали значительное количество необходимых станков и инструментов. На Тульском оружейном заводе еще в 1761 г. впервые в мире было разработано и внедрено изготовление и измерение при помощи калибров взаимозаменяемых деталей.

В 1765 г. И.И. Ползунов и его сподвижники построили первую в мире паровую машину для привода металлообрабатывающих станков. В последующее время технология машиностроения развивалась не только на оружейных, но и на вновь возникающих заводах, занимающихся изготовлением паровозов, вагонов, станков и других изделий.

Одним из первых, описавшим накопленный опыт в технологии машиностроения, был профессор Московского Университета И. Двигубский. В 1807 г. он написал книгу "Начальные основания технологии или краткое описание работ на заводах и фабриках производимых". В 1885 г. вышла работа профессора И.И. Тиме (1838 - 1920 гг.) "Основы машиностроения, организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство работ". И, наконец, была издана книга проф. А.Г. Гавриленко (1861 - 1914 гг.) "Технология металлов", в которой обобщен опыт развития технологии металлообработки.

В связи с бурным развитием техники в начале XX века возникла необходимость обобщения опыта по разработке и осуществлению технологических процессов. По мере развития машиностроения, дальнейшего изучения технологии стали выявляться общие закономерности, появились широкие обобщения, справедливые для различных отраслей машиностроения. В итоге были сформированы такие технологические дисциплины как основы технологии машиностроения, конструирования приспособлений, проектирования

машиностроительных цехов и заводов, а также автоматизация производственных процессов и ряд других.

Технология машиностроения стала формироваться как отрасль науки на основе обобщения результатов большого труда коллективов заводов, научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений и работников науки и промышленности. Основы технологии машиностроения были созданы, главным образом, трудами советских ученых: Б.С. Балакшина, Н.А. Бородачева, К.В. Вотинова, В.И. Дементьева, Ф.С. Деменьюка, М.Е. Егорова, А.А. Зыкова, А.И. Каширина, В.М. Кована, В.С. Корсакова, А.А. Маталина, С.П. Митрофанова, Э.Б. Рыжова, Э.А. Сателя, А.П. Соколовкого, А.Б. Яхина и многих других.

Постепенное накопление данных эмпирических исследований технологических процессов, выявление отдельных фактов, связей между явлениями, выдвижение различных идей и гипотез позволило сформировать технологию как науку.

В развитии промышленного производства, в том числе и машиностроения, можно выделить две эры: индустриальную и информационную. Первая прошла свой путь развития и характеризуется преимущественным развитием отраслей материального производства и, в первую очередь, промышленности. Само производство в значительной степени стало массовым, крупносерийным, ориентированным на рынки большой емкости и на изделия массового спроса.

На смену индустриальной эры пришла информационная эра, переход к которой в ведущих странах Запада начался в 50 - 60-е годы прошлого столетия и завершился в наиболее экономически развитых странах мира к середине 80-х гг.

Производство в информационную эру становится в высшей степени гибким, не массовым, ориентируется на индивидуальные запросы потребителей и небольшие по емкости рынки сбыта.

Прошли времена, когда предприятие могло выпускать одну и ту же продукцию десятилетиями. Сегодня в самых современных отраслях промышленности (например, в электронике) жизненный цикл изделия сокращается до нескольких месяцев. Если же говорить о машиностроении, то в нем в среднем за три-пять лет необходимы полная замена выпускаемых изделий и смена средств технологического обеспечения (технологических процессов, оборудования, оснастки.).

Современное предприятие должно быть способным быстро переходить на выпуск новых изделий повышенного качества с минимальными издержками. Сложность решения этой задачи усугубляется тем, что номенклатура выпускаемых изделий и объемы серий в определенной степени являются непредсказуемыми. Это не говорит о полном отсутствии планирования выпуска продукции предприятием - просто планирование строится на основе прогноза сбыта продукции. Главное отличие планирования в условиях рынка от централизованного директивного планирования заключается в ориентации производства на конкретного потребителя и даже на общественные явления и политические процессы.

Работа современного предприятия в динамично изменяющихся условиях заставляет решать "взаимоисключающие" задачи: быстро переходить на выпуск новой продукции и одновременно внедрять новые технологии и технику; повышать качество изделий и снижать издержки производства.

## 1. Основы технологии машиностроения

### 1.1. Основные понятия и положения

*Под производственным процессом* понимают совокупность отдельных процессов, осуществляемых для получения из материалов и полуфабрикатов готовых машин (изделий).

В производственный процесс входят не только основные, т. е. непосредственно связанные с изготовлением деталей и сборкой из них машины, процессы, но и все вспомогательные процессы, обеспечивающие возможность изготовления продукции (например, транспортирование материалов и деталей, контроль деталей, изготовление приспособлений и инструмента, заточка последнего и т. д.).

*Технологическим процессом* называют последовательное изменение формы, размеров, свойств материала или полуфабриката в целях получения детали или изделия в соответствии с заданными техническими требованиями.

Технологический процесс механической обработки деталей является частью общего производственного процесса изготовления всей машины.

Производственный процесс разделяется на следующие этапы:

1. Изготовление заготовок деталей — литье, ковка, штамповка или первичная обработка из прокатного материала;
2. Обработка заготовок на металлорежущих станках для получения деталей с окончательными размерами и формами;
3. Сборка узлов и агрегатов (или механизмов), т. е. соединение отдельных деталей в сборочные единицы и агрегаты (механизмы); в единичном (индивидуальном) производстве применяются слесарная обработка и пригонка деталей к месту постановки при сборке; в серийном производстве эти работы выполняются в незначительном объеме, а в массовом и крупносерийном не применяются, так как благодаря применению предельных калибров при обработке на металлорежущих станках достигается взаимозаменяемость деталей;
4. Окончательная сборка всей машины;
5. Регулирование и испытание машины;
6. Окраска и отделка машины (изделия). Окраска состоит из нескольких операций, выполняемых на разных этапах технологического процесса, например, шпаклевка, грунтовка и первая окраска отливок/



Для обеспечения производственного процесса создаются машиностроительные заводы, в состав которых входят:

1. Заготовительные цехи (чугунолитейные, сталелитейные, литейные цветных металлов, кузнечные, кузнечно-прессовые, прессовые, кузнечно-штамповочные и др.);

2. Обрабатывающие цехи (механические, термические, холодной штамповки, деревообрабатывающие, металлопокрытий, сборочные, окрасочные и др.);

3. Вспомогательные цехи (инструментальные, ремонтно-механические, электроремонтные, модельные, экспериментальные, испытательные и др.);

4. Складские устройства (для металла, инструмента, формовочных и шихтовых материалов, принадлежностей и разных материалов для готовых изделий, топлива, моделей и др.);

5. Энергетические устройства (электростанция, теплоэлектроцентраль, компрессорные и газогенераторные установки);

6. Транспортные устройства;

7. Санитарно-технические устройства (отопление, вентиляция, водоснабжение, канализация);

8. Общезаводские учреждения и устройства (центральная лаборатория, технологическая лаборатория, центральная измерительная лаборатория, главная контора, проходная контора, медицинский пункт, амбулатория, устройства связи, столовая и др.).

В целях обеспечения наиболее рационального процесса механической обработки заготовки составляется план обработки с указанием, какие поверхности надо обработать, в каком порядке и какими способами.

В связи с этим весь процесс механической обработки расчленяется на отдельные составные части: технологические операции, установки, позиции, переходы, ходы, приемы.

*Технологической операцией* называется часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте и охватывающая все последовательные действия рабочего (или группы рабочих) и станка по обработке заготовки (одной или нескольких одновременно).

Например, обтачивание вала, выполняемое последовательно сначала на одном конце, а потом после поворота, т. е. перестановки вала в центрах, без снятия его со станка, — на другом конце, является одной операцией.

Если же все заготовки (валы) данной партии обтачиваются сначала на одном конце, а потом на другом, то это составит две операции.

*Установом* называют часть операции, выполняемую при одном закреплении заготовки (или нескольких одновременно обрабатываемых) на станке или в приспособлении, или собираемой сборочной единицы.

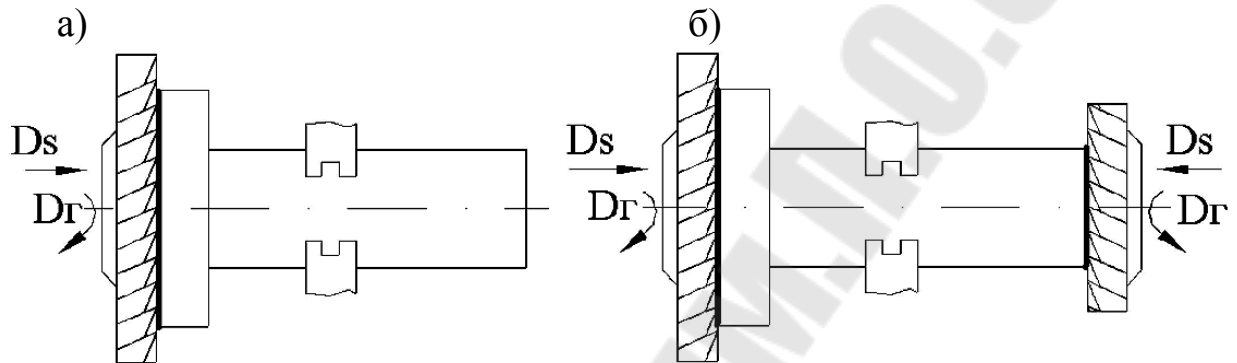


Рис. 1.1 – Фрезерование торцов:  
а – обработка торцов за два установка;  
б – обработка торцов вала за один установка

Так, например, фрезерование торца с одной стороны при закреплении вала — первый установка; фрезерование торца после поворота вала и закреплении для обработки другого конца — второй установка (рис.1.1, а). При каждом повороте детали на какой-либо угол создается новый установка (при повороте детали необходимо указывать угол поворота:  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и т. д.). Фрезерование торца по схеме рис. 1.1, б производится при одном закреплении вала одновременно с двух сторон — один установка.

Установленная и закрепленная заготовка может изменять свое положение на станке относительно его рабочих органов под воздействием перемещающих или поворотных устройств, занимая новую позицию.

*Позицией* называется каждое отдельное положение заготовки, занимаемое ею относительно станка при неизменном ее закреплении.

Операция разделяется на переходы—технологические и вспомогательные.

*Технологический переход* — законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента, поверхностей, образуемых обработкой, или режима работы станка.

Например: последовательное точение резцом сначала одной ступени вала, а потом другой будет состоять из двух переходов, а если выполнять обточку этих ступеней одновременно, то это будет обтачивание за один переход (рис. 1.2). Черновая и чистовая обработка также производится в два перехода, так как меняются режимы резания (подача, частота вращения и глубина резания).

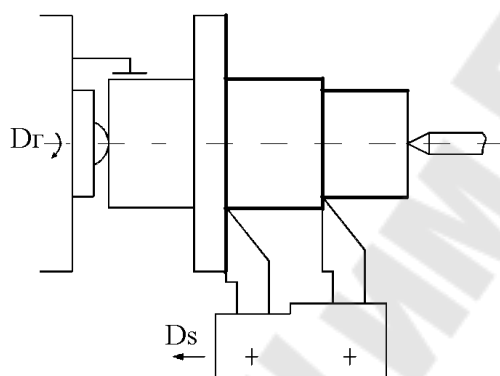


Рис. 1.2 – Схема обработки цилиндрических поверхностей вала за один переход

*Вспомогательный переход* — законченная часть технологической операции, состоящая из действия человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов являются установка и снятие заготовки, смена инструмента, контрольный промер и т. д.

Изменение только одного из перечисленных элементов (обрабатываемой поверхности, инструмента или режима резания) определяет новый переход.

Например, при обработке на многошпиндельных токарных полуавтоматах и автоматах (рис. 1.3) деталь при одном ее закреплении занимает различные положения относительно станка путем периодического поворота шпиндельного блока 1. Каждому положению шпинделя присваивается номер позиции (I, II, III и IV позиции). В каждой позиции выполняется свой технологический переход.

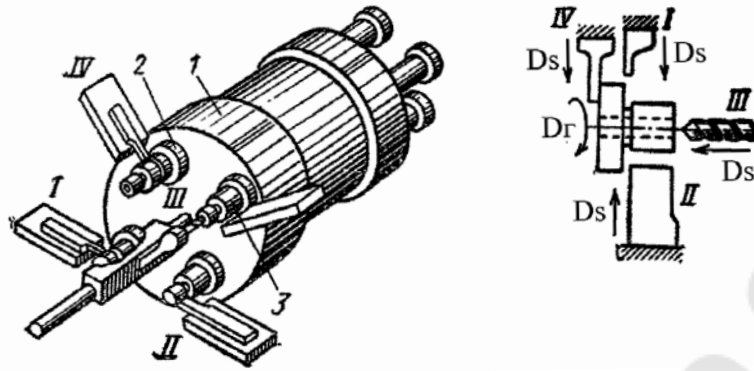


Рис. 1.3 – Схема обработки детали на 4-х шпиндельном горизонтальном токарном автомате

Переход состоит из рабочих и вспомогательных ходов.

*Под рабочим ходом* понимают часть технологического перехода, охватывающую все действия, связанные со снятием одного слоя материала при неизменности инструмента, поверхности обработки и режима работы станка.

*Вспомогательный ход* — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода.

Все действия рабочего, совершаемые им при выполнении технологической операции, расчленяются на отдельные приемы. *Под приемом понимают* законченное действие рабочего. Обычно приемами являются вспомогательные действия, например постановка или снятие детали, пуск станка, переключение скорости или подачи и т. п. Понятие «прием» используется при техническом нормировании операции.

При изготовлении детали разрабатывается маршрут и его структура по следующей рекомендованной последовательности работ:

- выбрать тип заготовки;
- произвести технологическую разметку чертежа, пронумеровав все поверхности, подвергаемые механической обработке (рис. 1.4, а);

— в соответствии с рекомендациями таблиц среднеэкономических достижимых точностей обработки выбрать для каждой из пронумерованных поверхностей требуемое количество операций (переходов);

- составить из выбранных таким образом операций маршрут изготовления детали и представить его в виде табл. 1.1;

- в соответствии с примером разработать структурную схему маршрута изготовления детали (рис. 1.4,б).

Таблица 1.1 -Маршрут изготовления вала

Номер операции	Наименование операций и их краткое содержание	Оборудование
05	Фрезерно-центровальная Фрезеровать торцы 1 и 2 и сверлить центровые отверстия 3 и 4	Фрезерно-центровальный станок
10	Токарная Точить поверхности 5, 6 и 7	Токарный станок
15	Вертикально-фрезерная Фрезеровать шпоночный паз 8	Вертикально-фрезерный станок
20	Круглошлифовальная Шлифовать поверхности 5, 6 и 7	Круглошлифовальный станок

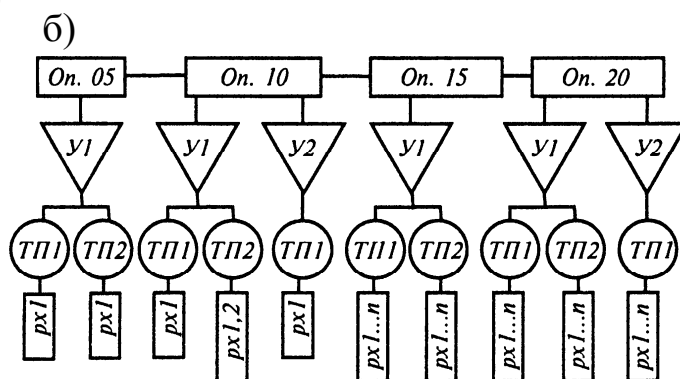
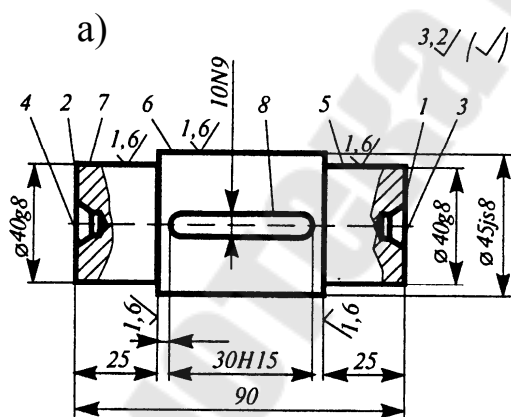


Рис. 1.4 – Эскиз вала (а) и структура технологического процесса (б)

При построении структурной схемы (рис.1.4,б), для расчета количества рабочих ходов можно воспользоваться следующими ориентировочными значениями максимальных глубин резания: при

токарной обработке наружных, внутренних цилиндрических и торцовых поверхностей — 4 мм; при фрезеровании плоскостей — 5 мм; при зенкеровании — 2 мм; при развертывании — 0,2 мм; при шлифовании — 0,3 мм (при поперечной подаче шлифовального круга 0,005...0,015 мм) на двойной ход или оборот.

В план механической обработки включают также промежуточные работы — контрольные, слесарные и др., необходимые для дальнейшей обработки, например спайка, сборка двух деталей, запрессовка сопрягаемых деталей, термическая обработка и т. д.; окончательные операции для других видов работ, выполняемых после механической обработки, вносятся в план соответствующих видов обработки.

Операции формулируются кратко по виду обработки, например: токарная, фрезерная, сверлильная, шлифовальная и т. д.; переходы излагаются подробно с указанием наименования, порядкового номера или размера обрабатываемой поверхности.

Для более ясного и точного представления плана и способа обработки технологический процесс иллюстрируется графическими изображениями (эскизами) переходов обработки со схематическим указанием поверхностей обработки, способа крепления детали на станке (в приспособлении), положения детали, приспособления и инструментов. Таким образом, эти эскизы изображают технологические наладки для обработки поверхностей детали (рис. 1.5). Эскиз дается для каждого перехода отдельно.

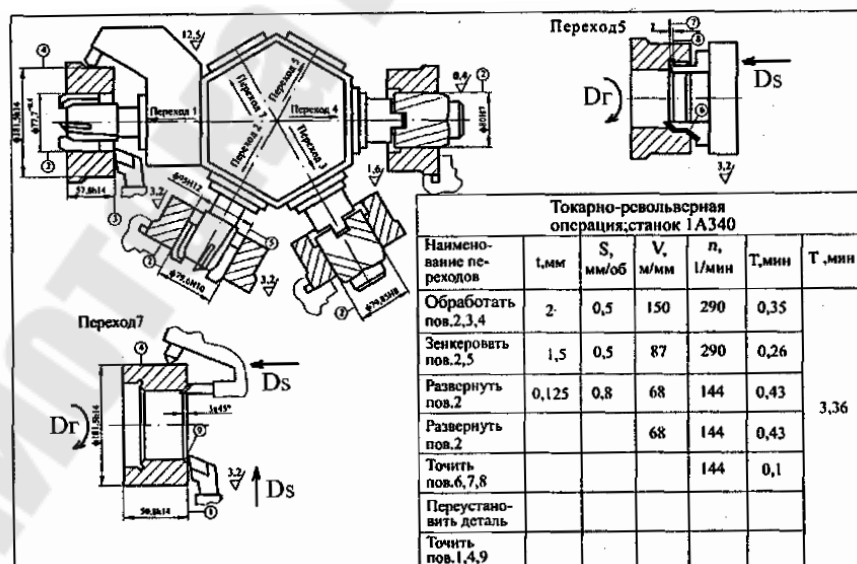


Рис. 1.5 – Карта наладки токарно-револьверной операции

## 1.2. Виды (типы) производства и характеристика их технологических процессов

В зависимости от размера производственной программы, характера продукции, а также технических и экономических условий осуществления производственного процесса все разнообразные производства условно делятся на три основных вида (или типа):

- единичное (индивидуальное),
- серийное,
- массовое.

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операции  $K_{з.о.} = O/P$ , где  $O$  – число различных операций;  $P$  – число рабочих мест

Предварительно тип производства может быть определен в зависимости от массы детали и объема выпуска (табл.1.2).

У каждого из этих видов производственный и технологический процессы имеют свои характерные особенности, и каждому из них свойственна определенная форма организации работы (табл. 1.3).

*Единичное производство* - производство, характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий.

Таблица 1.2 – Годовая программа выпуска деталей по типам производства

Тип производства	Годовой объем выпуска деталей одного наименования, шт		
	легкие, до 20 кг	средние, 20...300 кг	тяжелые, более 300 кг
Единичное	До 100	До 10	1...5
Мелкосерийное	101...500	11...200	6...100
Среднесерийное	501...5000	201...1000	101...300
Крупносерийное	5001...50 000	1001...5000	301...1000
Массовое	Свыше 50 000	Свыше 5000	Свыше 1000

В единичном производстве изделия изготавливаются единичными экземплярами, разнообразными по конструкции или размерам, причем повторяемость этих изделий редка или совсем отсутствует (турбостроение, судостроение).

В этом типе производства, как правило, используется универсальное оборудование, приспособления и измерительный инструмент, рабочие имеют высокую квалификацию, сборка

производится с использованием слесарно-пригоночных работ, т. е. по месту и т. п. Станки располагаются по признаку однородности обработки, т. е. создаются участки станков, предназначенных для одного вида обработки — токарных, строгальных, фрезерных и др.

Коэффициент закрепления операций  $> 40$ .

Таблица 1.3- Организационно-технические характеристики типов производства

Характеристики	Тип производства				
	Массовое	Крупносерийное	Среднесерийное	Мелкосерийное	Единичное
Форма организации производственного процесса и $K_{30}$	Непрерывно поточная, прямоточная, $K_{30} = 1$	Непрерывно поточная, $10 \geq K_{30} > 1$	Переменно поточная или групповая, $20 \geq K_{30} > 10$	Групповая, $40 \geq K_{30} > 20$	Предметная, $K_{30} > 40$
Технологические процессы: вид	Типовые и единичные		Типовые, групповые и единичные	Групповые и единичные	Единичные
Степень детализации проектирования	Операционные Автоматизированное или неавтоматизированное			Маршрутно-операционные	Маршрутные неавтоматизированные
Построение операций	Параллельная концентрация		Дифференциация	Последовательная концентрация	
	Обработка многоместная или одноместная с непрерывной или раздельной установкой			Обработка многоместная или одноместная с одновременной установкой	
Метод обеспечения точности	Базирование без выверки, работа на настроенных станках, активный контроль		Базирование без выверки и с выверкой, настройка статическая по пробным деталям или комбинированная	Базирование с выверкой, настройка по пробным ходам и промерам	
Оборудование	Специальное	Специальное и специализированное	Универсальное и специализированное, станки с ЧПУ, гибкие модули	Универсальное, станки с ЧПУ	
Оснастка	Неразборные специальные приспособления (НСП)	Сборно-разборные приспособления (СРП), специализированные наладочные приспособления (СНП)		Универсально-наладочные приспособления (УНП)	Универсальные безналадочные приспособления

*Серийное производство* — производство, характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значение коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Коэффициент закрепления операций в соответствии со стандартом принимают равным:

- а) для мелкосерийного производства — свыше 20 до 40 включительно;
- б) для среднесерийного производства — свыше 10 до 20 включительно;



в) для крупносерийного производства — свыше 1 до 10 включительно.

Основные признаки серийного производства:

- 1) станки применяются разнообразных типов: универсальные, специализированные, специальные, автоматизированные;
- 2) кадры различной квалификации;
- 3) работа может производиться на настроенных станках;
- 4) применяется и разметка, и специальные приспособления;
- 5) сборка без пригонки и т. д.

Оборудование располагается в соответствии с предметной формой организации работы.

Станки располагаются в последовательности технологических операций для одной или нескольких деталей, требующих одинакового порядка выполнения операций. В той же последовательности, очевидно, образуется и движение деталей (так называемые, предметно-замкнутые участки). Обработка заготовок производится партиями. При этом время выполнения операций на отдельных станках может быть не согласовано с временем операций на других станках.

Изготовленные детали хранятся во время работы у станков и затем транспортируются всей партией.

*Массовое производство* — производство, характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени.

Коэффициент закрепления операций для массового производства принимают равным единице.

Таким образом, изделия изготавливаются в большом количестве длительное время, конструкция изделия меняется плавно. Рабочая сила низкой квалификации при наличии настройщиков, оборудование автоматизированное, полная взаимозаменяемость при сборке.

Массовому производству присуща поточная форма организации производства, при которой операции обработки или сборки машины закреплены за определенным оборудованием или рабочими местами, оборудование расположено в порядке выполнения операций, а изготавливаемая деталь передается с одной операции на следующую сразу после выполнения предшествующей операции, как правило, с помощью специальных транспортных устройств.

### 1.3. Основные факторы, влияющие на характер технологического процесса

На характер технологического процесса механической обработки влияют следующие основные факторы:

- а) размер производственной программы в зависимости от типа производства и организационных форм выполнения технологического процесса;
- б) конструктивная форма, размеры и технологичность детали;
- в) род материала детали и его свойства;
- г) форма, размер и точность изготовления заготовки;
- д) требования к точности и качеству обработанной поверхности и другие требования по техническим условиям;
- е) характер используемого оборудования и технологической оснастки;
- ж) требования наибольшей экономичности и производительности производства.

Каждый из указанных факторов определяет те или иные особенности технологического процесса.

Одним из факторов, существенно влияющих на характер технологических процессов, является *технологичность конструкции изделия* и соответствующих его деталей.

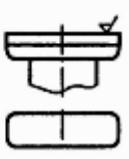
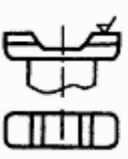
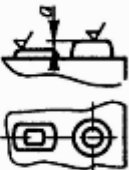

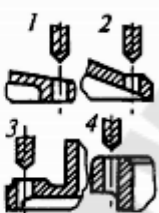
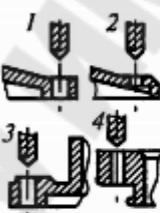

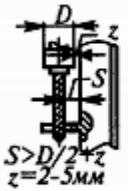
При конструировании отдельных деталей необходимо достичь удовлетворения не только эксплуатационных требований, но также и требований наиболее рационального и экономического изготовления изделия. В этом и состоит принцип технологичности конструкции.

Чем меньше трудоемкость и себестоимость изготовления изделия, тем более оно технологично. Таким образом, основными критериями оценки технологичности конструкции являются трудоемкость и себестоимость изготовления.

Технологичная конструкция изделия и деталей должна предусматривать:

- а) максимально широкое использование унифицированных сборочных единиц, стандартизованных и нормализованных деталей и элементов деталей;
- б) возможно меньшее количество деталей оригинальной, сложной конструкции и различных наименований и возможно большую повторяемость одноименных деталей;

Таблица 1.4 – Примеры конструкций и технологические требования

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологической конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Обрабатываемые плоскости не должны быть сплошными			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уменьшение расхода шлифовальных кругов</li> <li>2. Повышение точности и снижения шероховатости обработки</li> <li>3. Снижение трудоемкости</li> </ol>
Обрабатываемые плоскости следует располагать на одном уровне			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность обработки за один ход производительными методами-торцовым фрезерованием, плоским шлифованием и протягиванием</li> <li>2. Возможность обработки нескольких заготовок одновременно</li> <li>3. Упрощение контроля</li> </ol>
Возможность нормального входа и выхода режущего инструмента			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Предохранение инструмента от поломок</li> <li>2. Повышение точности сверления</li> <li>3. Повышение производительности</li> </ol>
Отверстия должны быть расположены так, чтобы можно было работать инструментом нормальной длины			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применение нормализованного инструмента и более полное его использование</li> <li>2. Повышение точности обработки</li> </ol>

в) создание деталей наиболее рациональной формы с легкодоступными для обработки поверхностями и достаточной жесткости с целью уменьшения трудоемкости и себестоимости механической обработки деталей и изготовления всего изделия (необходимая жесткость деталей позволяет обрабатывать их на станках с наиболее производительными режимами резания);

г) наличие на деталях удобных базирующих поверхностей или возможность создания вспомогательных (технологических) баз в виде бобышек, поясков и т. д.;

д) наиболее рациональный способ получения заготовок для деталей (отливок, штамповок, из проката) с размерами и формами, возможно более близкими к готовым деталям, т. е. обеспечивающими

наиболее высокий коэффициент использования материала и наименьшую трудоемкость механической обработки;

е) полное устранение или возможно меньшее применение слесарно-пригоночных работ при сборке путем изготовления взаимозаменяемых деталей, применения деталей-компенсаторов и механизации сборочных работ;

ж) упрощение сборки и возможность выполнения параллельной во времени и пространстве сборки отдельных сборочных единиц и изделия в целом.

В табл. 1.4 показаны примеры конструкций деталей с указанием основных технологических требований, которым должны удовлетворять конструкции, и преимуществ технологических конструкций.

#### 1.4. Нормирование технологических операций и структура технологических операций

Определение технически обоснованных норм времени на станочные работы необходимо для выбора необходимого варианта технологического процесса, обеспечивающего выполнение технических требований, предъявляемых к детали, и оптимальных затрат времени на ее изготовление, при которых повышается производительность труда и снижается себестоимость обработки.

Норма времени на станочную операцию (штучное время)

$$T_{шт} = T_{оп}[1 + (\alpha_{обс} + \alpha_{от.л})/100], \quad (1)$$

где  $T_{оп} = t_0 + t_b$  – оперативное время, состоящее в свою очередь из основного ( $t_0$ ) и вспомогательного ( $t_b$ ) времени;

$\alpha_{обс}$  и  $\alpha_{от.л}$  – соответственно время на обслуживание рабочего места, а также отдых и личные надобности.

Время на обслуживание рабочего места  $\alpha_{обс} = \alpha_{т.обс} + \alpha_{о.обс}$  подразделяется на время технического обслуживания ( $\alpha_{т.обс}$ ) и время на организационное обслуживание ( $\alpha_{о.обс}$ ).

Основное (технологическое) время — это время, в течение которого производится снятие стружки, т. е. происходит изменение формы, размеров и внешнего вида детали

В основное время входит время, затрачиваемое на резание и перебег (подход и выход) режущего инструмента, на обратные ходы (у строгальных, долбежных и других станков), на проход инструмента при пробных стружках; поэтому при подсчете основного времени расчетная длина обработки принимается с учетом всех этих приемов.

Основное время определяют на каждый переход, после чего время всех переходов операции суммируют. Основное время

$$T_0 = \frac{L}{S_M} i, \quad (2)$$

где  $L$  — расчетная длина обработки в направлении подачи (рис. 1.6), равная

$$L = l + l_1 + l_2. \quad (3)$$

Здесь  $l$  — длина обработки по чертежу;  $l_1$  и  $l_2$  — соответственно дополнительная длина на резание и перебег инструмента.

Минутная подача  $S_M$ :

- для точения, сверления и чистового фрезерования  $S_M = S_0 n$ ;

- для черного фрезерования  $S_M = S_i z n$ ,

где  $S_0$  — подача на один оборот детали (сврла, фрезы);

$z$  — число зубьев фрезы.

Число рабочих ходов при обработке поверхности

$$i = Z/t, \quad (4)$$

где  $Z$  — припуск на обработку,  $t$  — глубина резания.

Снижение основного времени достигается применением высокопроизводительных режущих инструментов и режимов резания, уменьшением припусков на обработку, а также числа рабочих ходов и переходов при обработке поверхностей.

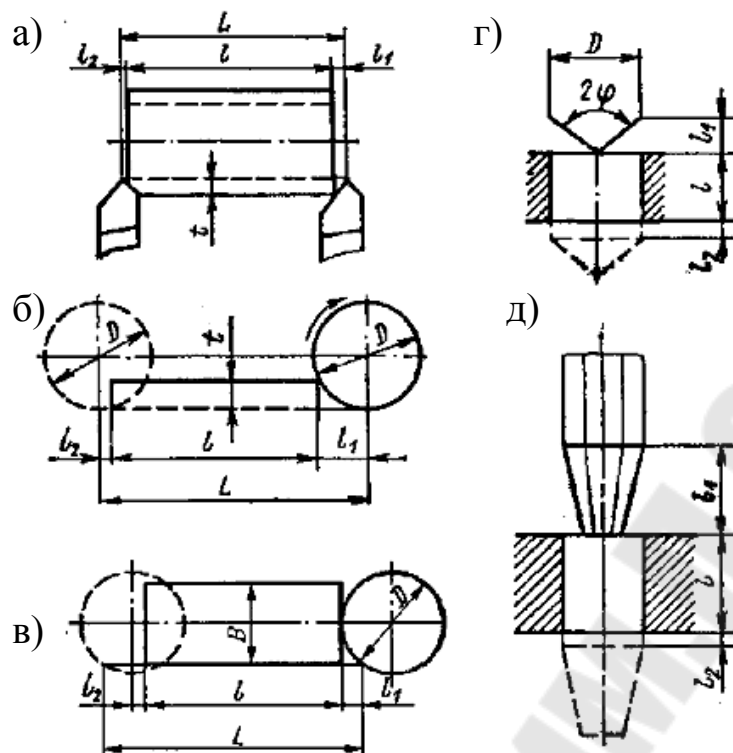


Рис. 1.6 – Длина обработки (перемещения инструмента):  
а– при точении; б, в – при фрезеровании; г – при сверлении;  
д – при развертывании

Во вспомогательное время входит:

- а) время управления станком — пуск и останов, переключение скорости и подачи, изменение направления вращения шпинделей или перемещения суппортов, кареток и т. п. ( $t_{уп}$ );
- б) время последовательной смены инструмента ( $t_{си}$ );
- в) время на установку, закрепление и снятие детали ( $t_{yc}$ );
- д) время на приемы измерения детали: взять инструмент, установить, измерить, отложить инструмент и т. ( $t_{изм}$ ).

Вспомогательное время сокращается уменьшением времени холостых ходов, рациональным построением процесса обработки, а также уменьшением времени на установку и снятие заготовок путем использования приспособлений с быстродействующими зажимными устройствами.

При разработке технологических процессов с целью уменьшения штучного времени обработки используют возможность перекрытия основного и вспомогательного времени. Эти возможности зависят от числа устанавливаемых для обработки

заготовок (одно-и многоместные), от числа используемых инструментов (одно-и многоинструментальные), а также различных схем обработки (последовательной, параллельной и последовательно-параллельной).

При одноместной последовательной обработке одним или несколькими инструментами (рис.1.6 ) неперекрываемое время  $t_o$ , входящее во время  $T_{шт}$ , включает сумму времен  $t_{oi}$  всех переходов

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} . \quad (5)$$

При одноместной, одноинструментальной последовательной схеме (рис. 1.7, а)  $t_b = t_{yc} + t_{yn}$ .

При обработке несколькими сменяемыми инструментами (рис. 1.7. б)

$$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{си}$$

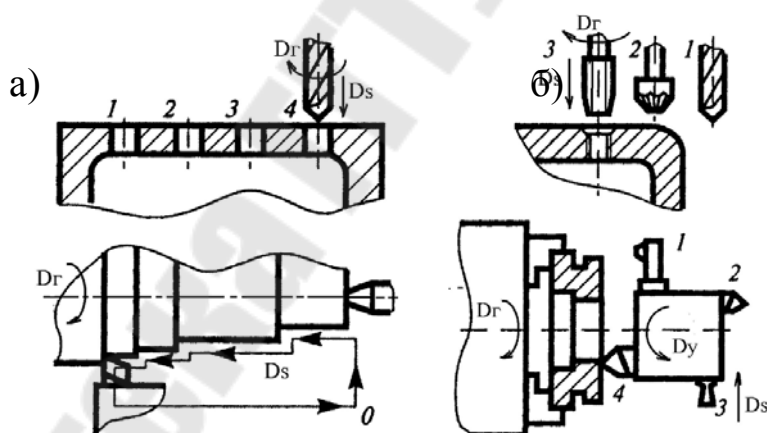


Рис. 1.7 – Одноместная последовательная обработка:  
а – одним; б – несколькими инструментами

Основное время при одноместной параллельной обработке (рис.1.8) определяется продолжительностью лимитирующего (наиболее длительного) перехода, перекрывающего все остальные переходы:  $t_o = t_{oi}$

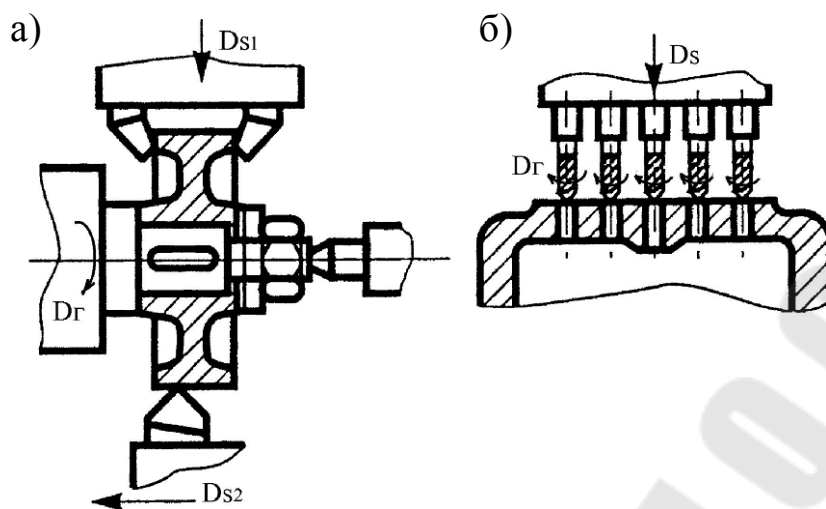


Рис. 1.8 – Одноместная параллельная обработка

Параллельно-последовательные схемы имеют место при одновременной обработке нескольких поверхностей заготовки и в нескольких позициях последовательно (рис. 1.9, а); при этом заготовка или инструменты меняют позиции путем поворота инструментального блока. Неперекрываемое время  $t_0$  представляет собой сумму времени нескольких лимитирующих переходов, оставшихся не перекрываемыми:

$$t_i = \sum_{i=1}^n t_{oi} . \quad (6)$$

Вспомогательное время операции  $t_b = t_{yc} + t_{уп.} + t_{си}$

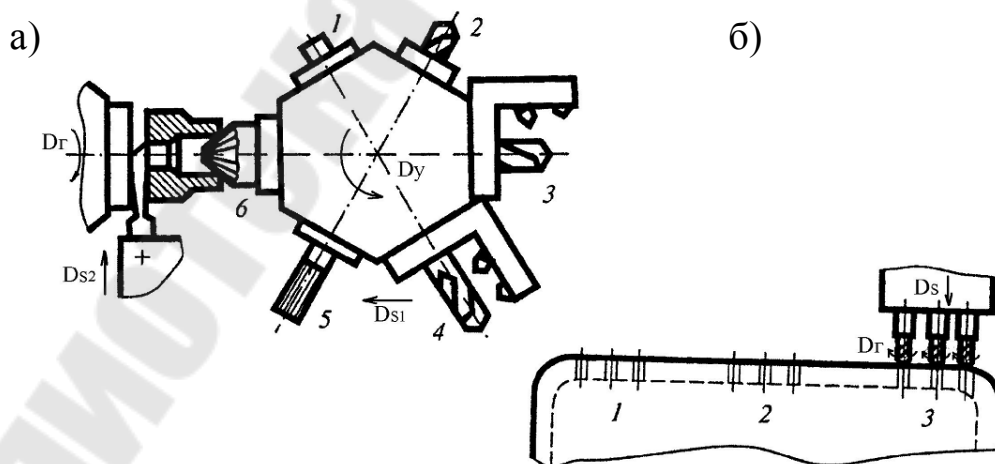


Рис. 1.9 – Параллельно-последовательные схемы обработки:  
 а – одним и несколькими инструментами;  
 б – несколькими инструментами



Для многоместных схем характерно более эффективное, чем для одноместных схем, совмещение элементов времени  $t_0$  и перекрытие элементов времени  $t_b$ . Возможны такие схемы, при которых время  $t_0$  перекрывает время  $t_{yc}$ ; в некоторых случаях время  $t_b$  исключается полностью.

В многоместных схемах с одновременной установкой операционной партии время обработки заготовки определяется путем деления общих затрат времени на число заготовок в операционной партии ( $z_0$ ). В многоместных схемах время  $t_0$  часто существенно сокращается за счет времени врезания и сбега инструмента. Время  $t_b$  при установке операционной партии несколько возрастает, на одну заготовку она значительно меньше, чем в одноместных схемах.

При многоместной последовательной обработке (рис. 1.10) заготовок одним (рис. 1.10, а) или несколькими инструментами (рис. 1.10. б)

$$t_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{z_0}. \quad (7)$$

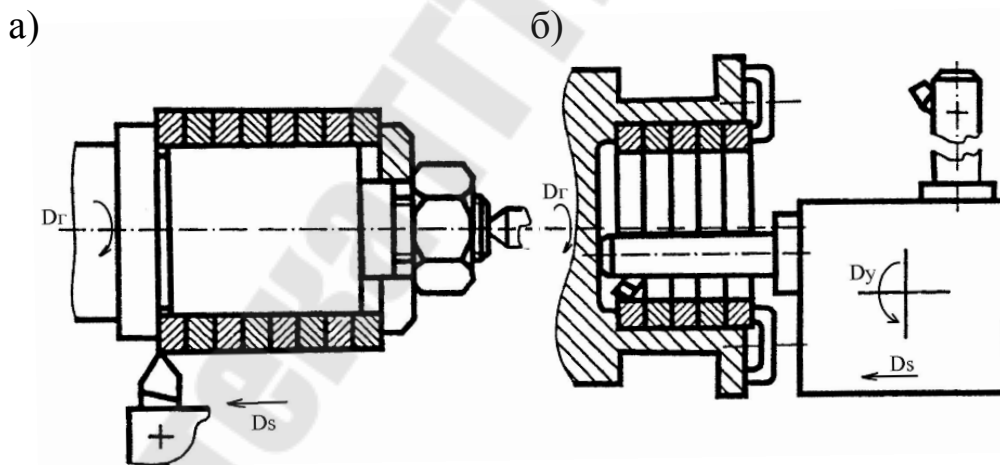


Рис. 1.10 – Многоместная последовательная обработка:  
а – одним; б – несколькими инструментами

Для многоместных схем с одновременной установкой заготовок при одноинструментальной обработке

$$t_b = \frac{t_{yc} + t_{yn}}{z_0}. \quad (8)$$

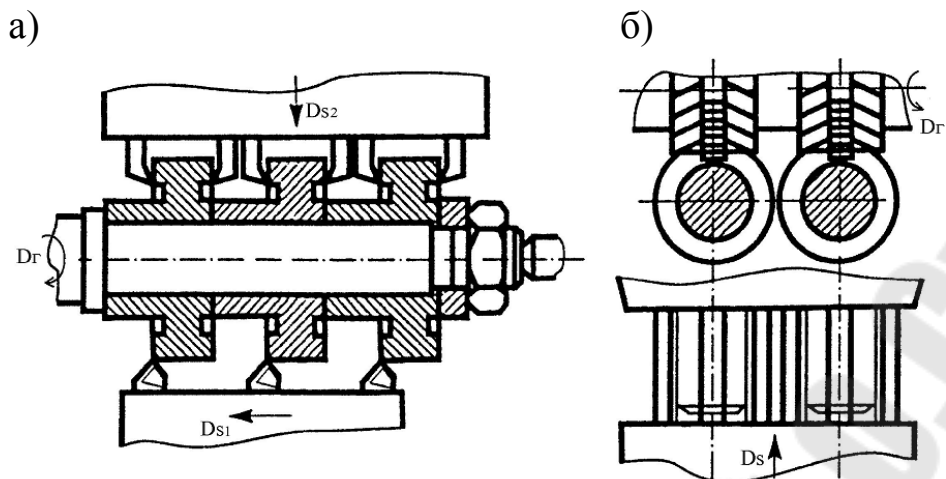


Рис. 1.11 – Многоинструментальная обработка:  
а – параллельная; б – параллельно-последовательная

При параллельной и параллельно-последовательной многоинструментальной обработке (рис. 1.11)

$$t_b = \frac{t_{yc} + t_{уп} + t_{сн}}{Z_o} \quad (9)$$

Время технического обслуживания рабочего места затрачивается рабочим на уход за рабочим местом в процессе данной работы; сюда входит:

- а) время на подналадку и регулировку станка в процессе работы;
- б) время на смену затупившегося инструмента;
- в) время на правку инструмента в процессе работы;
- г) время на удаление стружки в процессе работы.

Время на техническое обслуживание рабочего места исчисляется в процентном отношении от основного времени и для большинства станков колеблется в пределах 1 – 3,5%.

Время организационного обслуживания рабочего места затрачивается рабочим на уход за рабочим местом в течение смены; сюда входит:

- а) время на раскладку инструмента в начале смены и уборку его по окончании смены;
- б) время на чистку и смазку станка;
- в) время на осмотр и опробование станка.

Время технического обслуживания рабочего места зависит непосредственно от основного (технологического) времени и поэтому

его исчисляют в процентах к основному или при необходимости большей точности (для крупносерийного и массового производства) путем расчета.

В серийном производстве в целях упрощения расчета иногда принимают на техническое и организационное обслуживание суммарный процент от оперативного времени:  $\alpha_{\text{обс}} = (0,02 \div 0,07) T_{\text{оп}}$

Время перерывов на отдых и физические потребности может быть принято лишь в размере, регламентированном условиями производства и условиями работы на данном станке, причем время перерывов на отдых вводится в норму времени только в случае физически тяжелых или утомительных работ. Время перерывов на отдых и на физические потребности исчисляется суммарно в процентах к оперативному времени.

Так, в зависимости от типа станка при единичном и серийном производствах  $\alpha_{\text{от.л}} = (0,04 \div 0,06) T_{\text{оп}}$ , а при крупносерийном и массовом –  $\alpha_{\text{от.л}} = (0,05 \div 0,08) T_{\text{оп}}$

Норма времени на обработку данной партии деталей ( $T_{\text{п}}$ ) определяется следующей формулой

$$T_{\text{п}} = T_{\text{шт}}n + T_{\text{п.з.}}, \quad (10)$$

где  $n$  – количество деталей в партии, шт;

$T_{\text{п.з.}}$  – подготовительно-заключительное время на всю партию деталей, мин.

Подготовительно - заключительное время, как уже отмечалось, устанавливается на всю партию деталей и в норму штучного времени не входит; оно включается в калькуляционное время.

В подготовительно-заключительное время входит:

а) время на ознакомление рабочего с работой на чтение чертежа;  
б) время на подготовку рабочего места, настройку станка, инструмента и приспособления для обработки заданной партии деталей;

в) время на снятие инструмента и приспособлений по окончании обработки данной партии деталей.

## 2. Этапы построения технологического процесса изготовления детали

### 2.1. Выбор маршрута обработки поверхностей детали

На начальной стадии разработки технологического процесса составляют перечень технологических переходов, которые могут быть применены для достижения заданной чертежом точности и шероховатости. Учитывая, что каждому методу обработки соответствует определённое качество поверхности ( $R$ ,  $JT$ ), метод окончательной обработки (последнего перехода) подсказывается рабочим чертежом.

Вид (конфигурация) и точность заготовки облегчает определение первого технологического перехода, например:

а) в исходной заготовке есть отлитое отверстие - поэтому переход сверления отсутствует и обработка выполняется растачиванием или зенкерованием;

б) заготовка для гладкого вала - калиброванный прокат. Обтачивание не требуется - сразу шлифование.

Зная содержание первого и последнего переходов устанавливают промежуточные, при этом исходят из того, что каждому методу окончательной обработки предшествуют несколько предварительных (менее точных).

Пример: чистовому развёртыванию отверстия предшествует предварительное, а предварительному развёртыванию - чистовое зенкерование или сверление.

Число вариантов маршрута обработки может быть довольно большим. Выбор варианта производится приближённо, оценивая трудоёмкость по нормативным вариантам. Более точно маршрут обработки определяют при сравнении суммарной себестоимости обработки всего изделия (детали). Значительную помощь при этой работе может оказать ЭВМ.

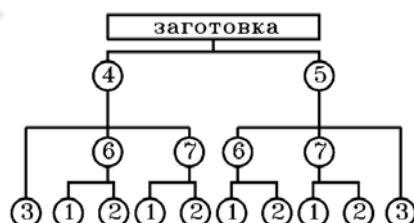


Рис. 2.1 – Варианты маршрутов обработки отверстия

Пример (рис. 2.1). Определить возможное количество маршрутов обработки отверстия по Н8, заготовка – чугунная отливка с отверстием.

1. Предварительная обработка:
  - 4 – черновое зенкерование;
  - 5 – черновое растачивание.
2. Промежуточная обработка:
  - 6 – чистовое зенкерование;
  - 7 – чистовое растачивание.
3. Окончательная обработка:
  - 1 – развертывание;
  - 2 – тонкое растачивание;
  - 3 – протягивание.

Всего возможно 10 вариантов маршрута обработки

## 2.2. Проектирование технологического маршрута изготовления детали

Цель составления технологического маршрута - дать общий план обработки детали, наметить содержание операций, выбрать тип оборудования. Задача сложная и многовариантная. При её решении следует руководствоваться следующей примерной схемой:

1. Рассматривают процесс изготовления как операции черновой, чистовой и отделочной обработки. Это позволяет:

а) своевременно выявить дефекты материала уже на стадии черновой обработки (брак);

б) увеличить разрыв времени между черновой и последующей обработкой для снижения влияния термических и механических остаточных деформаций в материале;

в) снизить требования и квалификацию рабочих на начальных стадиях технологического процесса;

г) уменьшить риск случайного повреждения окончательно обработанных поверхностей.

2. Сначала обрабатывают установочные поверхности, затем остальные в последовательности, обратной точности. В конце маршрута выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей, например резьбы.

3. Если деталь термообрабатывается, то маршрут расчленяют на две части: до и после термообработки. Это необходимо для устранения коробления.

4. В первую очередь необходимо обработать ту поверхность, относительно которой на чертеже координированы другие поверхности детали, например: сначала обрабатывают поверхность А, затем поверхность 3, а потом - остальные (рис. 2.2).

5. Вспомогательные операции и второстепенные (сверление местных отверстий, снятие фасок, прорезка канавок и т.п.) выполняют на стадии чистовой обработки.

6. Обработку зубьев колёс, нарезание шлицев, обработку пазов и т.д. выделяют как самостоятельные операции.

7. Необходимо учесть возможность объединения операций, выполняемых на одном станке.

8. Исходя из условий конкретного производства учитывают при составлении маршрута: наличие специализированных цехов, соответствие такту выпуска (массовое производство). Для тяжёлых заготовок предусматривают минимум перестановок

9. Всемерно применять принципы типизации технологических процессов.

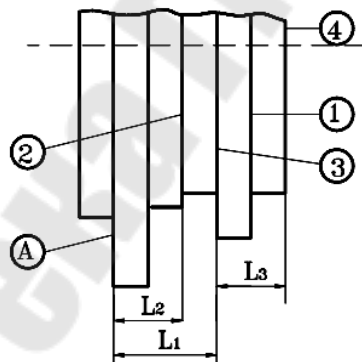


Рис. 2.2 – Последовательность обработки поверхности детали

В маршруте обработки указывают также операции контроля для своевременного предупреждения появления брака. Различают сплошные и выборочные контрольные операции. Методы контроля: пассивный и актив

### 2.3. Проектирование технологических операций

При разработке структуры операций механической обработки стремятся к наиболее экономическим вариантам.

С этой целью стремятся к перекрытию элементов основного  $t_0$  и вспомогательного  $t_b$  времени, тем самым уменьшая  $t_{\text{шт}}$  и, как следствие, повышая производительность процесса. Имеются следующие схемы построения операций, отличающиеся:

а) числом одновременно устанавливаемых заготовок: одноместные и многоместные;

б) числом участвующих в обработке инструментов: одноинструментальные и многоинструментальные;

в) порядком использования инструментов - последовательная, параллельная и параллельно- последовательная.

Путём сочетания указанных схем достигают различных схем обработки.

Средства контроля выбирают исходя из их метрологических показателей и их соответствия требуемой точности изготавливаемого изделия, производительности контроля.

Погрешность контроля от диаметра изделия ( $D$ ) в общем виде составляет:

- ответственные детали -  $0,085D$ ;
- менее ответственные детали –  $(0,12...0,25)D$ ;
- неответственные детали -  $0,305D$ .

Число контрольных операций выбирается из соображений минимального влияния на себестоимость при обеспечении минимума брака.

Выбор схемы построения операций в значительной степени зависит от программы выпуска, например: при единичном - одноместная, одноинструментальная, последовательная; при серийном, массовом - многоместная, многоинструментальная, параллельная или параллельно-последовательная.

### 2.4. Определение припусков на обработку

Исходная заготовка отличается от детали тем, что на всех обрабатываемых поверхностях предусмотрены припуски - слои материала, подлежащие удалению с поверхности заготовки в процессе обработки для получения заданной точности и

шероховатости. Материал, оставленный в выемках, пазах и отверстиях отливок и поковок образует напуск, также удаляемый при обработке. Напуском является также слой материала проката, превышающий размеры заготовки с учётом припуска на обработку. Напуск удаляют, как правило, в два прохода (60÷70 % - первый; 40÷30 % - второй).

Припуски разделяют на общие - удаляемые в течение всего процесса обработки и межоперационные (промежуточные), удаляемые при выполнении отдельных операций. Межоперационный припуск определяется разностью размеров заготовки, полученных на смежных предшествующем и выполняемом переходах.

Общий припуск равен сумме межоперационных припусков по всем технологическим операциям.

Припуски могут быть симметричными (для тел вращения) и асимметричными - (призматические детали).

Различают номинальный, минимальный и максимальный припуск.

Минимальный припуск, т.е. наименьший слой металла, снимаемый при обработке, есть разность между наименьшим размером заготовки и наименьшим размером после выполнения данного перехода. Максимальный припуск равен номинальному припуску минус допуск на выполнение данного перехода.

Номинальный припуск - разность между номинальными размерами поверхности после предшествовавшего и после данного перехода.

Максимальный припуск есть разность между наименьшим размером поверхности после выполнения предшествовавшего перехода и наименьшим её размером после выполнения данного перехода.

Существуют нормативные данные, суммируя которые можно получить величину минимального припуска. При оценке величины общего припуска учитываются факторы:

1. Размер и конструктивные формы;
2. Материал и способ получения заготовки;
3. Величина дефектного слоя;
4. Погрешность установки;
5. Степень деформации.

Важно, чтобы припуски на обработку были возможно меньшими в целях экономии металла, времени и т.д. Для этого, чтобы



ограничить значения промежуточных припусков, назначают технологические допуски на отдельные переходы.

Обычно технологические промежуточные допуски на охватываемую поверхность (шейка вала) назначают в минус, а на охватывающую (отверстия) - в плюс. В любом случае промежуточный допуск направлен в тело металла.

Минимальный припуск - минимальная необходимая толщина слоя материала для выполнения данной операции. Он является исходной величиной при расчёте припусков.

Припуски на обработку определяются двумя методами:

1. Опытно-статистический - при котором значения общих и промежуточных припусков определяют по справочным таблицам, составленным на основе обобщения производственного опыта. Недостаток метода - нет учёта конкретных условий построения ТП. Полученные припуски, как правило, завышены, так как ориентируются на полное отсутствие брака;

2. Расчётно-аналитический метод, согласно которому промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующем переходе, а так же погрешности установки на данном переходе.

Основа метода – определение  $Z_{\min}$

Величину минимального промежуточного припуска определяют следующие факторы:

1. Высота неровностей  $R_{z\ i-1}$ , полученная на смежном предшествующем переходе. Зависит от условий этого перехода (режим резания, метод резания и т.д.) (рис. 2.3, а).

2. Состояние и глубина  $T_{i-1}$  поверхностного (дефектного) слоя - дефекты, полученные так же на смежном предшествующем переходе, подлежащие частичному (после поверхностной закалки) или чаще полному удалению. У отливок состоит из перлитной корки с включением формовочного песка и т.д. У стальных поковок - это обезуглероженный слой (рис. 2.3, а).

3. Пространственное отклонение  $r_{i-1}$  расположения обрабатываемой поверхности относительно базовой. Например: несоосность наружной (базовой) поверхности и растачиваемого отверстия; неперпендикулярность торцевой плоскости оси базовой цилиндрической поверхности; нецилиндричность обрабатываемой поверхности относительно базовой оси (рис. 2.3, б).

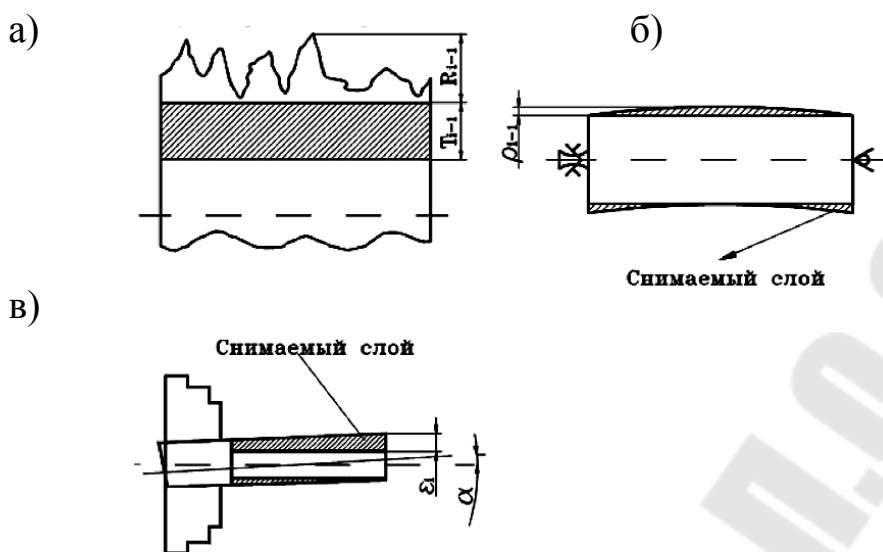


Рис. 2.3 – Составляющие элементы операционного припуска

4. Погрешность установки  $\varepsilon_i$ , возникающая на выполняемом переходе, за счёт нестабильности положения обрабатываемой поверхности вследствие её смещения. Это смещение возникает при закреплении заготовки из-за неточностей установочных элементов приспособления и других причин (рис. 2.3, в).

Общая величина минимального припуска определяется по следующим формулам:

- обработка плоских поверхностей

$$Z_{i \min} = (R_{z i-1} + T_{i-1}) + (p_{i-1} + \varepsilon_i); \quad (11)$$

- обработка тел вращения

$$2Z_{\min} = 2[(R_{z i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}]. \quad (12)$$

На базе указанных зависимостей могут быть получены формулы для конкретных случаев. При развёртывании плавающей развёрткой и протачиванием

$$2Z_{\min} = 2(R_{z i-1} + T_{i-1}). \quad (13)$$

При суперфинишировании и полировании

$$2Z_{\min} = 2 R_{z i-1}. \quad (14)$$

Необходимо отметить, что при обработке цилиндрической заготовки в цетрах  $\varepsilon_i$  не учитывается.

## 2.5. Определение промежуточных и исходных размеров заготовки

Для определения размеров заготовки, значений операционных припусков воспользуемся методом графического построения (рис. 2.4).

Для однопроходной обработки вала: построение схемы операционных допусков и припусков начинают прибавлением  $Z_{\min}$  к максимальному размеру детали  $d_{\max}$ . Получаем минимальный размер заготовки  $D_{\min}$ , прибавляя к которому значение технологического допуска на заготовку  $\delta_{\text{заг}}$ , получаем максимальный размер заготовки  $D_{\max}$ .

Таким образом:

$$Z_{\min} = D_{\min} - d_{\max}; \quad (15)$$

$$Z_{\max} = D_{\max} - d_{\min}; \quad (16)$$

$$Z_{\text{ном}} = D_{\max} - d_{\max}; \quad (17)$$

$$Z_{\max} = Z_{\text{ном}} + \delta_d. \quad (18)$$

Для многопроходной обработки процедура определения составляющих общего технологического припуска аналогична. Необходимо отметить, что рассмотренная схема построения полей припусков и допусков справедлива при индивидуальной настройке станка на изготавливаемую деталь.

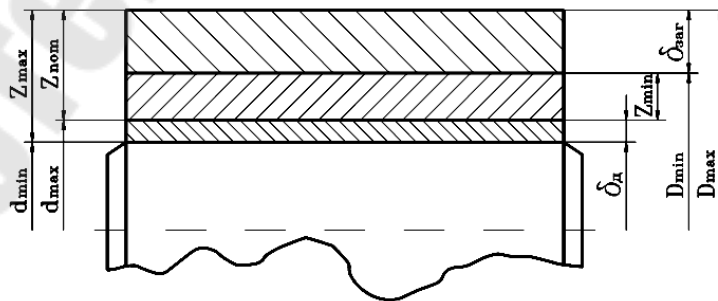


Рис. 2.4 – Схема распределения припусков и допусков при индивидуальной настройке станка

## 2.6. Выбор оборудования, приспособлений, инструментов

При выборе оборудования следует учитывать следующие факторы:

1) соответствие рабочей зоны станка габаритам детали, например: диаметр заготовки над станиной; расстояний между центрами; диаметр заготовки над суппортом и т.д. - для токарно-винторезных станков, расстояние от торца шпинделя до стола - для сверлильных станков и т.д.;

2) возможность достижения требуемой точности и шероховатости;

3) соответствие мощности, жёсткости и кинематических данных наилучшим режимам выполнения операции;

4) обеспечение требуемой производительности в соответствии с заданной программой;

5) соответствие техники безопасности и промышленной санитарии;

6) соответствие оборудования заданной программе по критерию себестоимости.

Окончательный выбор оборудования из ряда приемлемых осуществляется по данным экономических расчётов.

Выбор приспособлений зависит в основном от программы выпуска:

- единичное, мелкосерийное - универсальные приспособления (тиски, кулачковые патроны, делительные головки и т.д.);

- серийное - универсальные, переналаживаемые;

- массовое - специальные приспособления.

Выбор режущего инструмента ориентируется на стандартный инструмент, с учётом метода обработки, материала детали, размера и конфигурации, качества поверхности, программы выпуска.

Выбор измерительных средств определяется в первую очередь соответствием требуемой точности изготавливаемой детали.

- единичное, мелкосерийное - универсальные инструменты (микрометры, штангенциркули, нутромеры, индикаторы и т.д.).

- серийное, массовое - калибры, шаблоны, автоматические измерительные средства.

### 3. Технологические методы и процессы производства изделий

#### 3.1. Получение заготовок для изготовления деталей машин

Изготовление любой детали начинается с заготовки, которая в процессе механической обработки доводится до размеров и качества готовой детали.

Общая себестоимость и качество детали складываются из себестоимости и качества заготовки и себестоимости и качества ее обработки, поэтому необходимо комплексно рассматривать процесс изготовления детали, включая процесс производства заготовки и процесс ее обработки.

При нарушении этого условия может случиться, что при незначительной себестоимости механической обработки общая себестоимость производства детали окажется большей за счет высокой себестоимости заготовки, и наоборот.

Заготовку можно получить различными способами.

Наиболее распространенные виды заготовок:

- 1) отливки из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов;
- 2) поковки из стали, получаемые свободной ковкой или штамповкой;
- 3) сортовой материал в виде проката различного профиля из стали;
- 4) сварные и комбинированные заготовки из стали;
- 5) получаемые методом порошковой металлургии.

Заготовки, получаемые литьем в заранее подготовленные формы, называются отливками.

Преимущества литья заключаются в следующем:

- 1) возможно получить заготовки практически любой сложной конфигурации и почти из любого материала;
- 2) не требуется дорогостоящего оборудования, такого как молоты, прессы и др.;
- 3) возможно максимально приблизить заготовку к форме готовой детали при весьма небольших припусках на механическую обработку, а на отдельные поверхности - и без них.

Недостаток заключается в том, что качество литых заготовок (прочность и надежность) в большинстве случаев уступает кованным и штампованным заготовкам.

Производство отливок осуществляется различными способами. Их получают в разовых, полу постоянных и постоянных формах.

Литье в разовые формы может производиться:

- а) в песчаные формы;
- б) в оболочковые формы;
- в) по выплавляемым моделям;
- г) по соляным моделям;
- д) по замораживаемым азотным моделям.

*Песчаные формы* применяют для получения отливок из различных материалов с широким диапазоном размеров и веса. С помощью литья в песчаные формы получают до 75% всех отливок. Этим методом можно получить изделия массой до 100 тонн с минимальной толщиной стенок 3 – 5 мм, с шероховатостью поверхности  $Ra = 80 \div 20$  мкм (в зависимости от применяемого формовочного материала, покрытия формы и способа очистки отливки) в единичном и серийном производстве. Минимальный диаметр отливаемых отверстий - 20 мм при массовом производстве, 30 мм - при серийном и 50 мм - при единичном.

Отливки получают в литейной форме (рис. 3.1), полость которой соответствует конфигурации отливки. При литье в песчаные формы их изготавливают из формовочной смеси, состоящей из формовочных материалов. Формовочную смесь засыпают в литейные опоки и выполняют отпечаток модели. Модель имеет конфигурацию внешней поверхности отливки, обычно ее изготавливают из дерева, металла, пластмассы. Внутренняя поверхность отливки (отверстия, полости и т.п.) образуются при помощи литейного стержня, который устанавливают в форму. Литейные стержни изготавливают из стержневой смеси в стержневых ящиках. Между полостью формы и стержнем образуется пространство, заполняемое жидким металлом. После его затвердевания образуется отливка.

Песчаные формы выполняют в постоянных опоках и без опок, применяя ручную или машинную формовку. Точность отливок, получаемых в песчаных формах, в зависимости от технологии находится в пределах от 6 до 16 класса (по ГОСТ 7505-89).

Для получения отливок 6-9 классов точности необходимы металлические модели и металлическая оснастка, сборка стержней с помощью кондукторов и машинная формовка. Такие отливки применяются в массовом производстве.

Для получения отливок 10-11 классов точности, необходимы металлические модели, машинное изготовление стержней и

машинная формовка. Эти отливки применяются в серийном, крупносерийном производстве.

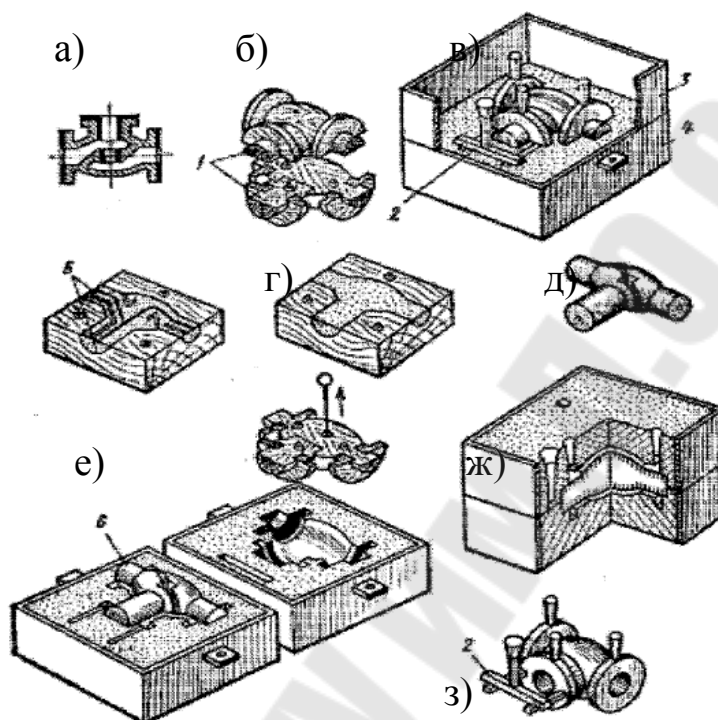


Рис. 3.1 – Последовательность изготовления отливки:  
 а – чертеж детали; б – деревянная модель; в – модель отливки, заформованная в нижнюю полуопку (установлена модель литниковой системы); г – разъемный стержневой ящик; д – изготовленный стержень; е – две полуформы с извлеченными полумоделями и установленным стержнем; ж – собранная форма; з – отливка; 1, 5 – стержневые знаки; 2 – литник; 3,4 – полуопки; 6 – стержень

Получение отливок 12-16 классов точности возможно при использовании деревянных моделей и стержневых ящиков и при ручном изготовлении стержней и формы. Такие отливки применяются в серийном и мелкосерийном производствах.

Шероховатость поверхности отливок, изготавливаемых в песчаных формах, зависит и находится в пределах

*Литьем в оболочковые формы* из песчано-смоляных смесей производятся отливки по IT13– IT14 классам точности, шероховатостью  $Ra = 10 \div 25$  мкм. Этим методом изготавливают

преимущественно сложные и ответственные мелкие и средние отливки весом до  $25 \div 30$  кг, а иногда и до 100 кг. Минимальная толщина отливаемых стенок -  $3 \div 5$  мм для стали и  $1 \div 1,5$  мм для алюминиевых сплавов. Минимальный диаметр отливаемых отверстий - 8 мм.

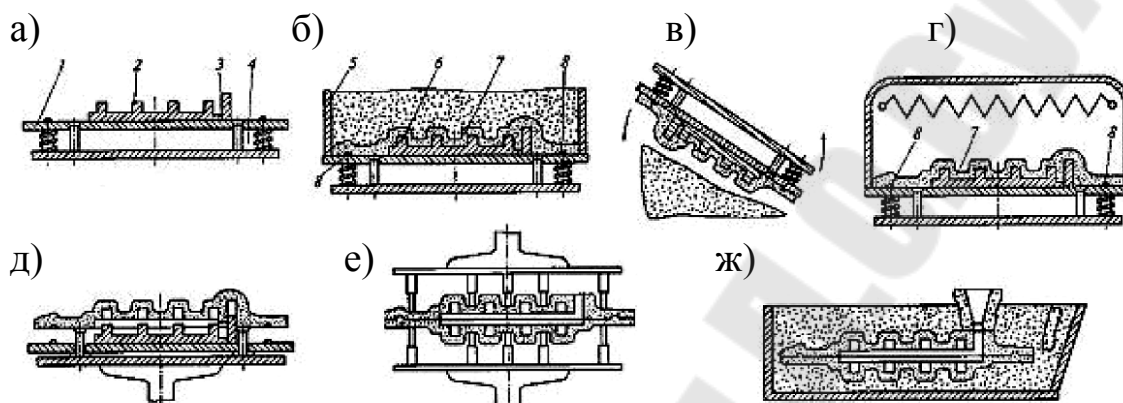


Рис. 3.2 – Схема технологического процесса изготовления оболочковых форм: а – подготовка модельной оснастки; б – засыпка модельной плиты смесью; в – удаление излишков смеси; г – окончательное затвердевание оболочки в печи; д – съем оболочковой полуформы с модельной плиты; е – склеивание оболочковых полуформ; ж – подготовка формы к заливке; 1 – модельная плита; 2 – модель отливки; 3 – литниковая система; 4 – плита толкателей; 5 – бункер со смесью; 6 – смесь; 7 – формирующая оболочка; 8 – элементы центрирования оболочковой полуформы при будущей сборке.

Эти отливки позволяют сократить объем механической обработки на 30 - 50 % и снизить вес заготовок на 10 - 50 % по сравнению с литьем в песчаные формы. Этот метод экономичен для массового производства и для серийного производства ответственных отливок с серийностью от 500 до 5000 шт. в год.

*Литье по выплавляемым моделям* обеспечивает получение заготовок самой сложной конфигурации, снижение механической обработки на 90 % и снижение расхода металла.

Применение литья по выплавляемым моделям наиболее эффективно для получения заготовок из труднообрабатываемых сплавов.



По выплавляемым моделям изготавливают отливки весом от 1 г до 500 кг с толщиной стенок 0,15 мм и длиной до одного метра. Наиболее распространены отливки весом от 50 до 500 г длиной до 100 мм, при минимальной толщине стенок 0,8 мм. Минимально допустимый диаметр выливаемого отверстия — 0,8 мм. Литьем по выплавляемым моделям могут быть получены отливки с точностью по IT11 – IT12 квалитетам и с шероховатостью поверхностей  $R_a = 10 \div 25$  мкм.

Наибольший эффект этот метод дает в условиях крупносерийного производства деталей из труднообрабатываемых сплавов.

*Литье в полупостоянные формы (гипсовые или цементные).*

Гипсовые формы применяют для отливок из чугуна и цветных сплавов весом до 1 кг.

Можно получать отливки с минимальной толщиной стенок до 1 мм. При литье в вакууме можно получать отливки сложной конфигурации из алюминиевых сплавов с толщиной стенок до 0,2 мм. Этим способом получают отливки с большими отверстиями, образуемыми массивными стержнями, а также отливки, имеющие узкие полости и каналы, или с очень тонкими выступающими частями, близко расположенными друг к другу (1,5 ÷ 2 мм), например, лопатки турбин, зубья колес и т.п.

Цементные формы применяют для получения отливок из стали, чугуна и цветных металлов весом от 0,5 кг до 70 т. Особенно выгодно применять цементные формы при производстве отливок из твердых, неподдающихся механической обработке сплавов.

*Литье в металлические формы (кокиль)* по сравнению с литьем в песчаные формы позволяет повысить производительность труда в 2 - 3 раза, в 5 - 6 раз уменьшить производственные площади, на 50 - 70 % снизить затраты на формовочные материалы, обеспечить точность отливок по IT12 – IT15 квалитетам, и уменьшить шероховатость поверхностей заготовок до  $R_a = 20 \div 25$  мкм.

В металлических формах получают отливки следующего веса: чугунные - от 10 г до 7 т, стальные - от 0,5 г до 500 кг.

Метод экономически целесообразен при партии заготовок не ниже 300 ÷ 500 для мелких отливок и 50 ÷ 300 для крупных отливок.

Для получения заготовок в металлических формах обычно используют центробежный метод литья и литье под давлением.

*Центробежный метод* применяется для получения заготовок, имеющих форму тел вращения. Точность заготовок соответствует IT12 – IT14 квалитетам, шероховатость  $Ra = 40 \div 10$  мкм.

*Литье под давлением* применяется для изготовления сложных тонкостенных отливок с глубокими полостями и сложными пересечениями стенок (корпусные детали), имеющие точные размеры до IT8 – IT12 квалитета, малую шероховатость  $Ra = 5,0 \dots 0,63$  мкм. Способ рентабелен в условиях крупносерийного и массового производств.

Заготовки, получаемые обработкой давлением, называются поковками. Поковки получают методомковки и штамповки.

Преимущества заготовок, получаемых давлением, заключаются в волокнистой структуре и улучшении физико-механических свойств материала.

Недостаток заключается в невозможности получить заготовки сложной конфигурации.

Ковка бывает свободной и в подкладных штампах.

Свободной ковкой изготавливают поковки простой конфигурации весом от 150 г до 250 т. Допуски на поковку, получаемую методомковки, в зависимости от оборудования и веса заготовки составляют от 2 до 40 мм. Применение свободнойковки для мелких и средних заготовок целесообразно лишь в условиях единичного и мелкосерийного производства, для крупных заготовок - при всех видах производства.

Ковка в подкладных штампах рентабельна при количестве заготовок более 100 шт. Производительность при ковке в подкладных штампах возрастает в 3 - 5 раз по сравнению со свободной ковкой.

Штамповка может быть горячей и холодной.

Горячая штамповка применяется в серийном и массовом производствах. Она осуществляется:

1) в открытых штампах - применяется для получения мелких и средних заготовок. Заготовки имеют отход до 20 % в виде облоев.

2) в закрытых штампах - применяется для получения заготовок, имеющих форму тел вращения или близких к ним.

3) на горизонтально ковочных машинах - применяются для получения поковок типа стержней с утолщением, колец, втулок гладких с одним или двумя буртиками, поковок с полостями, поковок из труб и т.д. Вес поковок  $0,1 \div 100$  кг.

Преимущества метода - высокая производительность и экономия материала.

Холодная штамповка бывает объемной и листовой.

Объемная штамповка (высадка) применяется для получения крепежных деталей (болты, винты, заклепки), пальцев, толкателей клапанов, роликов, шариков, мелких ступенчатых деталей и т.д. Шероховатость  $Ra = 1,0 \div 2,5$  мкм. Экономия металла до 40 % по сравнению с тем, если бы деталь изготавливали из прутка.

Холодная листовая штамповка применяется для получения кожухов, картеров, крышек, колпаков, щеток, дисков, прокладок.

Заготовки из проката применяют в единичном и серийном производствах. Прокаткой получают заготовки круглые, квадратные, шестигранные, листовые, трубные, фасонные. Прокатка осуществляется как в горячем, так и холодном состоянии. Точность горячекатаного проката соответствует 12-14 квалитетам, холоднокатаного - 9 - 12 квалитетам. Прокат выбранного профиля резкой превращают в штучные заготовки, из которых последующей обработкой давлением получают поковки или механической обработкой готовые детали.

В настоящее время в горячем состоянии прокатывают и зубчатые профили с модулем более 10 мм. При этом обеспечивается 8-я степень точности профиля зуба и шероховатость поверхности  $Ra = 1,25 \div 2,5$  мкм, в холодном состоянии прокатывают мелкозубчатые колеса из цветных металлов с модулем до 1 мм, обеспечивая 7-ю степень точности профиля зуба и шероховатость поверхности  $Ra = 0,16 \div 1,25$  мкм.

Сварные и комбинированные заготовки изготавливают из отдельных составных элементов, получаемых литьем или давлением, которые соединяют между собой сваркой. Сварные и комбинированные заготовки значительно упрощают создание конструкций сложной конфигурации.

Точность размеров таких заготовок в зависимости от применяемого способа сварки находится в диапазоне от 12 до 17 квалитетов.

Механическую обработку таких заготовок, как правило, выполняют после их термообработки.

Заготовки, получаемые методом порошковой металлургии, по форме и размерам могут соответствовать готовым деталям.

Техпроцесс получения таких заготовок включает в себя:

- 1) получение и подготовку порошков исходных материалов;
  - 2) прессование изделий необходимой формы в специальных пресс-формах;
  - 3) термообработку (спекание) спрессованных изделий;
- Последние две операции зачастую совмещены.

Выбор заготовки заключается в определении ее вида и способа получения.

Выбирает заготовку конструктор детали, и принятое им решение является обязательным для технолога. Технолог осуществляет выбор заготовок, если в конструкторской документации не указан их вид и способ получения.

Исходными данными для выбора заготовок являются;

- 1) чертеж детали с техническими требованиями на изготовление;
- 2) годовой объем выпуска;
- 3) данные о технологических возможностях заготовительного производства.

### 3.2. Предварительная обработка заготовок

В механических цехах среднего и малого масштаба предварительная обработка заготовок, т. е. выполнение заготовительных операций, обычно производится в заготовительном отделении, которое часто располагается при цеховом складе заготовок и материалов. При наличии на заводе нескольких крупных механических цехов вместо заготовительного отделения организуется самостоятельный заготовительный цех, обслуживающий все металлообрабатывающие цехи завода.

В заготовительном отделении или цехе прокат в виде прутков подвергается правке, обдирке, разрезанию, центрованию. Поковки и штамповки также проходят заготовительные операции: фрезерование и центрование торцов (концов), обдирку и предварительное растачивание отверстий.

Заготовительные операции для прутков обычно выполняются в следующем порядке: 1) правка; 2) бесцентровая обдирка; 3) разрезание; 4) центрование (если пруток предназначен для дальнейшей обработки на револьверном станке или автомате,

центрирование прутка не производится); 5) контроль выполненных операций.

### Правка заготовок.

Перед началом механической обработки прутковый материал и заготовки для валов с целью устранения искривления осей правят в холодном состоянии. Заготовки в виде поковок и штамповок при значительных их диаметре и длине правят в нагретом состоянии под молотами.

Прутки и заготовки для валов можно править на прессах ручных, винтовых, эксцентриковых, гидравлических, пневматических и фрикционных; последние три вида прессов применяют главным образом в автотракторостроении. Перед правкой валы проверяют в центрах и при этом определяют места, подлежащие правке; после этого их правят на прессах с помощью призм.

Большое количество прутков правят на специальных правильных станках (рис. 3.3, а). На этих станках правка осуществляется тремя парами роликов 1, 2 и 3 с вогнутой поверхностью (формы гиперболоидов вращения), расположенных в шахматном порядке, причем у первой пары роликов 1, подающих выпрямляемый пруток 4, один ролик расположен над другим. Все шесть роликов расположены в барабане 5 под углом  $\alpha = 70^\circ$  к оси барабана, который вращается вокруг прутка. При вращении барабана ролики также вращаются и, обкатываясь при этом вокруг прутка, осуществляют процесс его правки. Скорость поступательного движения прутка — подача — лежит в пределах 5—30 м/мин в зависимости от скорости вращения барабана, приводимого в действие электродвигателем через коробку скоростей. Перед поступлением в барабан пруток закрепляется в специальных стойках 6, передвигающихся на роликах 7.

В зависимости от степени искривления оси прутка и требуемой прямолинейности поверхности прутки пропускают через барабан от 1 до 6 раз. Точность правки достигает 0,1—0,2 мм на 1 м длины прутка.

На многих заводах встречаются также правильные станки с тремя роликами, находящимися в неподвижном барабане и передающими вращение прутку. Ввиду наличия всего лишь трех роликов производительность таких станков меньше, чем станков с шестью роликами.

Для прутков диаметром от 3 до 20 мм применяются небольшие правильные станки с одной парой роликов.

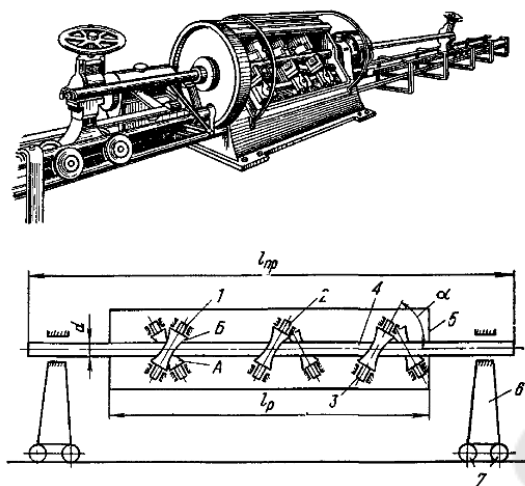


Рис. 3.3 – Общий вид (а) и схема (б) правильного станка

### Обдирка прутков

Для обдирки прутков применяют бесцентрово-обдирочные станки (рис. 3.4), на которых можно производить обдирку пруткового материала диаметром от 15 до 80 мм, длиной до 7 м. Процесс обработки на таких станках протекает следующим образом.

Центральное зубчатое колесо 3, приводимое во вращение электродвигателем через коробку скоростей, вращает две резцовые головки. Одна головка (левая) с резцом 2 производит черновую обдирку, другая (правая) с резцом 4 — получистовую обдирку. Сухари 5 предохраняют пруток 6 от прогиба, возникающего от радиальных составляющих сил резания. Подача прутка осуществляется двумя специальными роликами 1, имеющими крупную насечку. Изменяя число оборотов этих роликов, можно получать три разные величины подачи прутка на один оборот резцовой головки. В зависимости от числа оборотов роликов подача прутка составляет от 175 до 600 мм/мин.

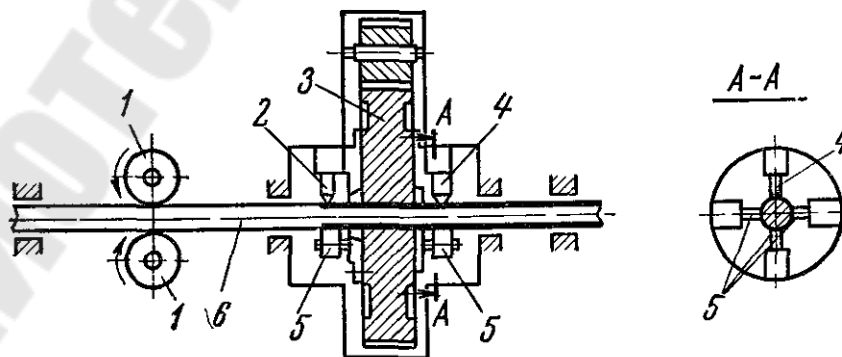


Рис. 3.4 – Схема бесцентрово-обдирочного станка

## Разрезание прутков, валов, труб и листов

Прутки и валы разрезают на приводных ножовках, на пилах – дисковых, ленточных, фрикционных, электрофрикционных, на токарно-отрезных станках (с одним или двумя ), отрезных станках, работающих абразивным кругом (применяются для разрезания закаленной стали и труб). В механических цехах разрезание иногда производят на фрезерных станках прорезными фрезами.

Прутковый материал можно разрезать также на прессах и ножницах, что применяется главным образом в заготовительных отделениях кузнечных цехов.

Для разрезания листового материала применяют ножницы различных конструкций: ручные, гильотинные, роликовые.

Помимо указанных способов механического разрезания пруткового и листового материала (некоторые из них используются и для разрезания труб) применяется также базовое (автогенное), анодно-механическое, электроискровое и ультразвуковое разрезание.

*Приводные ножовки* разрезают прутковый материал ножовочным полотном, которое совершает под некоторым давлением возвратно-поступательное движение от механического привода. Режущие кромки зубьев ножовочного полотна направлены в сторону разрезания; полотно прижимается к разрезаемому материалу только во время рабочего хода, а при обратном ходе приподнимается гидравлическим механизмом. Вследствие этого трение зубьев о материал при обратном ходе исключается, износ полотна уменьшается, а производительность ножовки увеличивается.

Ширина прореза при пользовании приводными ножовками меньше, чем при разрезании дисковыми пилами, а следовательно, потеря материала малая. Обслуживание ножовок просто: один рабочий может обслуживать 5—6 ножовок. По сравнению с дисковыми пилами и другими отрезными станками производительность приводных ножовок меньше, и, кроме того, ножовки дают часто косой прорез, снижая эффект применения тонких ножовочных полотен, так как в этом случае после отрезки необходимо подрезать торцы для придания им перпендикулярности по отношению к оси заготовки.

*Дисковые пилы* представляют собой диск с режущими зубьями, очень сходный с тонкой фрезой; они широко применяются для разрезания проката, прутков, балок разных профилей и труб.

Так как изготовление пил большого диаметра целиком из быстрорежущей стали нерационально и обходится дорого, пилы изготовляют составными – из диска углеродистой стали со вставными зубьями из быстрорежущей стали или к диску из углеродистой стали прикрепывают зубчатые сегменты из быстрорежущей стали.

Разрезание прутков дисковой пилой производят по одному или пакетом (рис. 3.5).

*Ленточные пилы* имеют форму бесконечной ленты толщиной 1,0—1,5 мм. Они бывают вертикальные (рис. 3.6), горизонтальные и наклонные. Потери на прорез при разрезании ленточной пилой незначительны, так как толщина ленты малая.

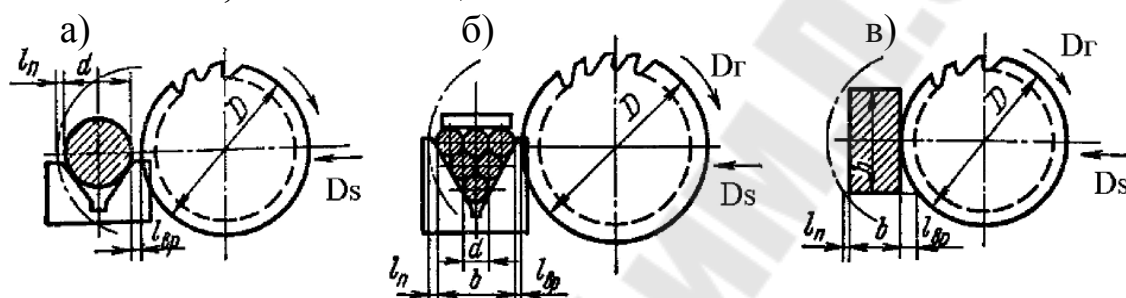


Рис. 3.5 – Схема разрезания проката дисковой пилой:  
 а – одного прутка; б – пакета прутков;  
 в – проката прямоугольного сечения

Ленточные пилы применяются главным образом для разрезания пруткового материала из цветных металлов (латуни, красной меди, алюминия и др.). Они применяются также для вырезания кривошипов, колеччатых валов, шатунов и других подобных деталей. Широкого распространения ленточные пилы не получили ввиду сравнительно высокой цены инструмента, т. е. пильной ленты.

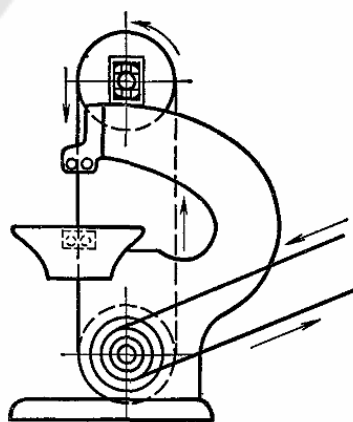


Рис. 3.6 – Схема вертикальной ленточной пилы



*Фрикционной (или беззубой) пилой* называется тонкий стальной диск, вращающийся от электродвигателя (со скоростью 100—140 м/с). При подаче и вращении диск вследствие возникающего трения нагревает частицы металла в прорезе до температуры, при которой начинается плавление. Расплавленный металл удаляется из прореза самим же диском, который охлаждается воздухом и водой. Для увеличения трения поверхность круга снабжают частой насечкой, что несколько увеличивает ширину пропила. Подача диска бывает ручная и механическая. Фрикционные пилы разрезают материал очень быстро, но требуют для привода электродвигатель большой мощности. Фрикционными пилами можно разрезать закаленные стальные детали, не поддающиеся резанию обыкновенными пилами.

*Электрическая фрикционная пила* разрезает материал путем совместной работы фрикционной (беззубой) пилы с вольтовой дугой. Вращающийся диск соединен с одним полюсом источника электроэнергии, а разрезаемый материал — с другим; при этом образуется вольтова дуга. Металл в прорезу плавится, а вращающийся диск только удаляет расплавленный металл. Поверхность металла в прорезе получается довольно ровной и чистой.

*Отрезные станки* служат для разрезания по длине круглых и шестигранных прутков, а также труб. У этих станков на станине расположена передняя бабка с пустотелым шпинделем, по обоим концам которого размещены самоцентрирующие зажимные патроны. Достоинством этих станков являются большая производительность, простота и невысокая себестоимость самого станка и инструмента (резцов). Недостатком отрезных станков является широкий прорез (3—5 мм), что приводит к большой потере материала.

Имеются отрезные станки, снабженные двумя суппортами — передним и задним — и работающие одновременно двумя резцами, благодаря чему их производительность повышается.

Вертикальные отрезные автоматы приспособлены для разрезания калиброванных по диаметру и ровных (не изогнутых) по всей длине прутков. У этих станков пруток закладывается сверху, благодаря чему они занимают малую площадь в цехе. Пруток под действием своего веса опускается на подставку и зажимается; затем к разрезаемому прутку подходит суппорт с резцом. Несколько таких станков обслуживаются одним рабочим.

*Токарно-сверлильно-отрезные* станки применяются в заготовительных цехах для предварительной обдирки, растачивания, сверления, отрезания как прутков, так и поковок и штамповок. В подвижной задней бабке станка крепится спиральное сверло для сверления отверстия. Передний суппорт служит для обдирки и растачивания, задний — для отрезания заготовки от прутка. Схема обработки на станке представлена на рис. 3.7.

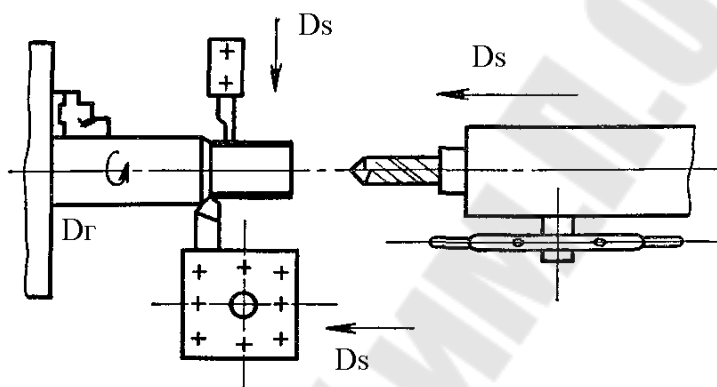


Рис. 3.7 – Схема обработки на токарно-сверлильно-отрезном станке

*Станки, работающие тонким абразивным кругом*, служат для разрезания прутков и труб. Абразивные круги применяются эластичные, толщиной 2—3 мм, благодаря чему потеря металла на прорез незначительна. При разрезании труб большого диаметра их необходимо поворачивать вокруг оси. Производительность разрезания абразивным кругом довольно высока; например, пруток диаметром 40—50 мм разрезается за 5—6 сек.

*Разрезание на других станках.* Кроме указанных выше способов прутки, трубы и заготовки (штамповки, поковки, отливки) можно разрезать на обычных токарных, горизонтально-фрезерных и строгальных станках. Все эти способы менее производительны и применяются не в специализированных заготовительных цехах и отделениях, а в небольших механических цехах. Разрезание на горизонтально-фрезерных станках отрезными фрезами применяется несколько чаще.

В отдельных случаях разрезание прутков, труб и других производится следующими новыми методами: анодно-механическим, электроискровым, ультразвуковым, электролитическим, электронно-лучевым, с помощью лазера, взрыва и плазменной струей.

## Центрование

Центровые отверстия в деталях типа валов являются базой для ряда операций: обтачивания, нарезания резьбы, шлифования, нарезания шлицев и др., а также для правки и проверки изготавливаемых деталей. Центровые отверстия в таких режущих инструментах, как сверла, зенкеры, развертки, метчики и т.д., нужны не только для обработки, но и для проверки заточки и переточки их во время эксплуатации.

При ремонтных работах сохранившимися центровыми отверстиями пользуются как базами для обтачивания изношенных или поврежденных поверхностей шеек валов, для правки, шлифования, контроля и др. операциях.

Ввиду такого значения центровых отверстий центрование необходимо производить весьма тщательно: центровые отверстия должны быть правильно засверлены и иметь достаточные размеры, конусность их должна точно совпадать с конусностью центров станка. При несоблюдении этих требований центровые отверстия быстро теряют форму и размеры и повреждают центры станка.

На практике чаще всего применяют центры у станков, а значит, и центровые отверстия у заготовок (деталей) с углом конуса  $60^\circ$ . Иногда при обработке крупных, тяжелых деталей этот угол увеличивают до  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ . Центр станка должен соприкасаться с центровым отверстием заготовки (детали) лишь по поверхности конуса. В центровом отверстии вершина центра не должна упираться в заготовку. Поэтому центровые отверстия всегда имеют цилиндрическую часть малого диаметра  $d$  и коническую поверхность с наибольшим диаметром  $D$  и углом конуса  $60^\circ$  (тип А) (рис. 3.8, а). Иногда центровое отверстие имеет еще вторую коническую поверхность с большим диаметром  $D_0$  и углом при вершине конуса  $120^\circ$  (тип Б) (рис. 3.8, б), которая делается с целью избежать появления на торцах вала заусенцев при небольшом износе центровых отверстий, предохранить их при случайном повреждении торцов вала или, наконец, иметь возможность подрезать эти торцы без уменьшения опорной поверхности центровых отверстий. Такая конструкция центровых отверстий применяется главным образом для оправок и режущего инструмента.

Центрование заготовок производится на вертикально- и горизонтально-сверлильных, токарных и револьверных станках, а в

серийном и массовом производствах — на специальных одно-или двусторонних центровочных станках, а также на фрезерно-центровочных станках. На горизонтально-сверлильных станках производят центрование крупных заготовок.

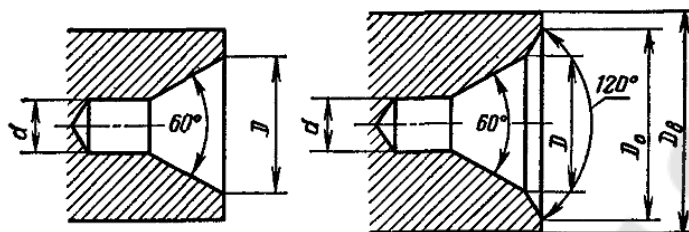


Рис. 3.8 – Центровые отверстия:  
а- тип А без предохранительного конуса;  
б – тип Б с предохранительным конусом

Центрование заготовок производят двумя инструментами: спиральным сверлом, которым сверлится цилиндрическое отверстие малого диаметра, и зенковкой, которая образует коническую поверхность (рис. 3.9, а).

Центрование заготовок часто производится специальными комбинированными центровочными сверлами (рис. 3.9, б, в), которые производят сверление и зенкование; двусторонние центровочные станки центруют оба конца вала одновременно.

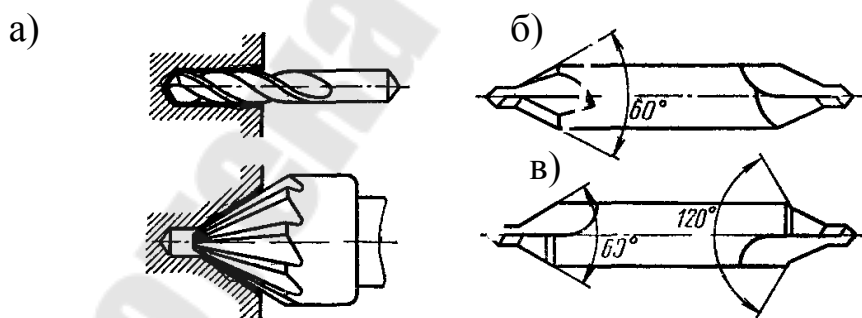


Рис. 3.9 – Схема центрования (а) и центровочные сверла (б, в)

На фрезерно-центровочных станках (рис. 3.10, а) у заготовки сначала фрезеруют торцовые поверхности одновременно с обоих концов, после чего комбинированными центровочными сверлами сверлят отверстия.

В настоящее время все большее применение находит метод обработки торцов и центрование заготовок с помощью одного или двух широких твердосплавных резцов, установленных вместе со стандартным комбинированным центровочным сверлом в специальной инструментальной головке, чертеж которой приведен на рис. 3.10, б.

Головка состоит из державки 1, подрезного резца 8 и фасочного 6, регулируемыми и закрепляемыми винтами 7 и 10. Стандартное центровочное сверло 9 установлено в сменную втулку 5 и закреплено в ней винтом 12. Втулка крепится в державке 1 с помощью винта 11.

Расположение центровочного сверла относительно резцов регулируется с помощью винта 2 через латунную пробку 3. Винт 4 препятствует повороту пробки при регулировании вылета сверла 9.

Вместо фасочного резца 6 в головке может быть установлен резец для обтачивания поводкового конца заготовки, что обеспечивает высокую степень concentричности этой поверхности с центровым отверстием и позволяет последующее обтачивание заготовки осуществлять с одной установки без ее поворота.

Благодаря тому что подрезной резец оснащен пластинкой твердого сплава, а центровочное сверло изготовлено из быстрорежущей стали, при одном числе оборотов головки инструменты работают приблизительно с оптимальными скоростями резания, несмотря на разницу в диаметрах обработки.

Применение такой головки для одновременного подрезания торца и сверления центрального отверстия значительно упрощает обработку.

При работе на токарном станке (рис. 3.10, в) инструментальная головка 1 устанавливается в шпиндель станка и получает вращение.

Заготовка 2 крепится в зажимном самоцентрирующем приспособлении 3 ручного или пневматического действия, смонтированном на каретке суппорта, и получает поступательное движение подачи до упора 5. Для установки заготовки по длине используется регулируемый упор 4.

Возможен другой вариант обработки на токарном станке (рис. 3.10, г). В этом случае заготовка 3 устанавливается в отверстие шпинделя до упора 4, зажимается в самоцентрирующем патроне и получает вращательное движение. Инструментальная головка 2 крепится с помощью специальной державки в резцедержателе 1 станка. По такой же схеме может быть осуществлена работа на

револьверном станке при установке инструментальной головки в гнездо револьверной головки. Можно эту работу выполнять и на горизонтально-фрезерном станке (рис. 3.10, д).

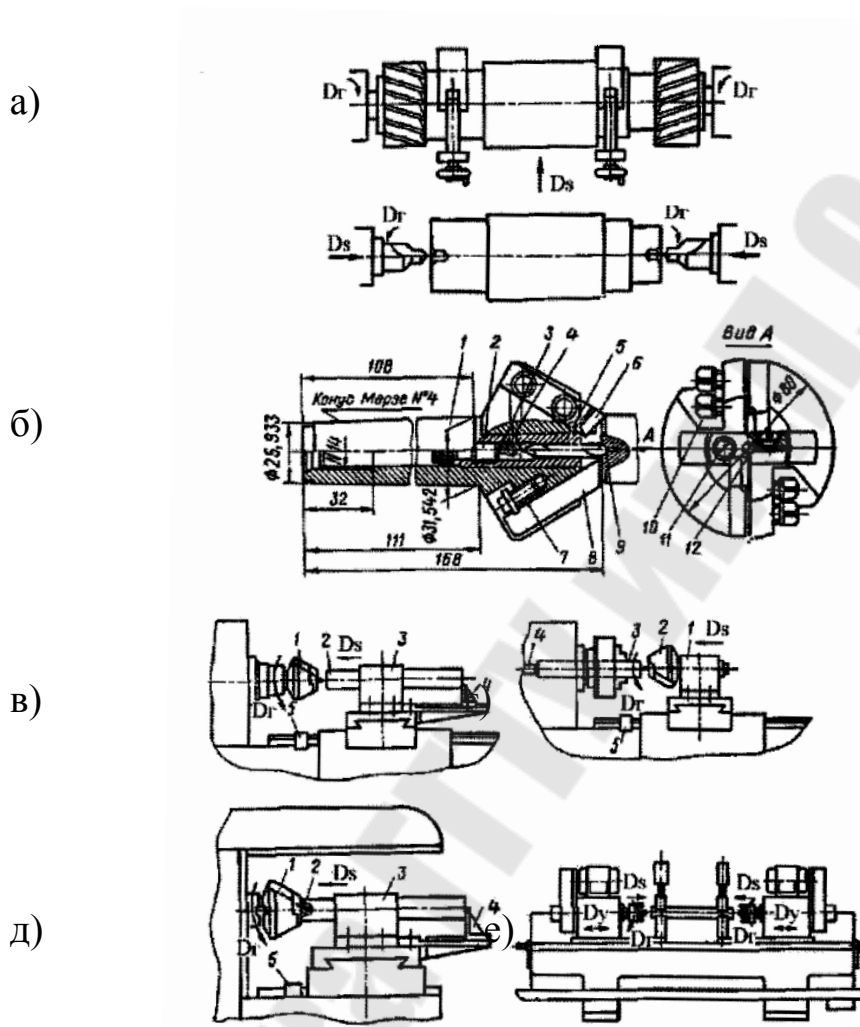


Рис. 3.10 – Схемы центрования:

а – обработка на фрезерно-центровочном станке; б – конструкция инструментальной головки для подрезания и центровки заготовки диаметром до 30 мм; в – е - подрезка торца и центровка заготовки: - на токарном станке с вращающейся инструментальной головкой (в); на токарном станке с невращающейся головкой (г); на горизонтально-фрезерном станке (д); на специальном полуавтомате (е)

Во всех трех схемах обрабатывается сначала первый торец, затем после поворота заготовки — второй.

Наилучшим вариантом с точки зрения получения высокой точности и производительности является обработка на специальном двустороннем станке (рис. 3.10, е) агрегатного типа несложной конструкции. По сравнению со станком фрезерно-центровочным (рис. 3.10, а) этот станок вместо четырех шпинделей имеет всего два и для заготовки не требуется горизонтальной подачи.

### 3.3. Технология изготовления деталей класса валы

#### 3.3.1. Общие сведения

В технологии машиностроения в понятие валы принято включать собственно валы, оси, пальцы, штоки, колонны и другие подобные детали машин, образованные наружными поверхностями вращения при значительном преобладании длины над диаметром. Конструктивное разнообразие валов вызывается различным сочетанием цилиндрических, конических, а также зубчатых (шлицевых), резьбовых поверхностей. Валы могут иметь шпоночные пазы, лыски, осевые и радиальные отверстия (рис. 3.11).

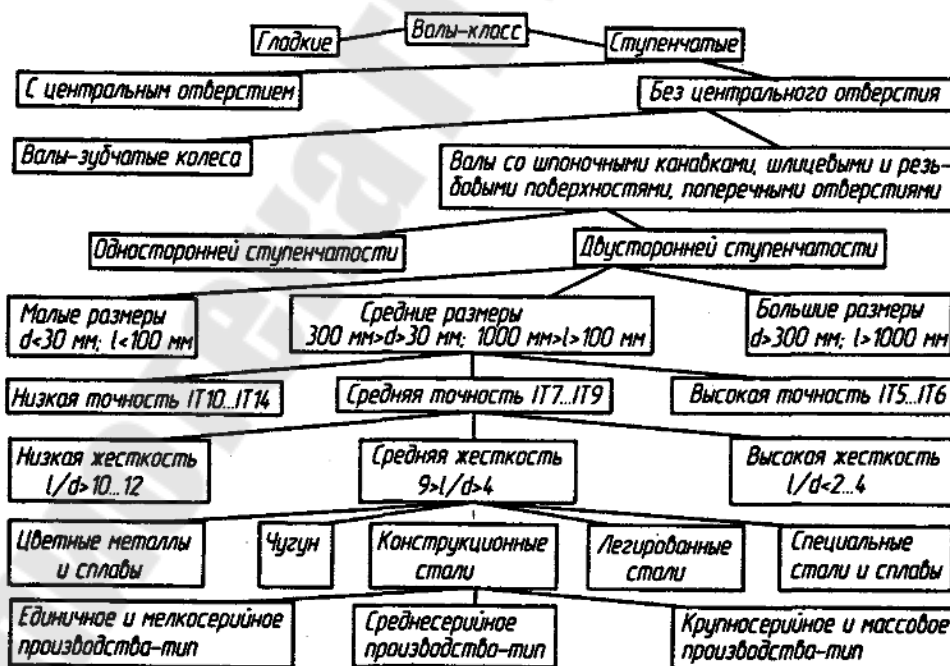


Рис. 3.11 – Классификация валов

Технологические задачи формулируются в соответствии со следующими параметрами (рис. 3.12):

- точность размеров. Точными поверхностями валов являются, как правило, его опорные шейки, поверхности под детали, передающие крутящий момент. Обычно они выполняются по 6...7-му квалитетам

- точность формы. Наиболее точно регламентируется форма в продольном и поперечном сечениях у опорных шеек под подшипники качения. Отклонения от круглости и профиля в продольном сечении не должны превышать 0,25...0,5 допуска на диаметр в зависимости от типа и класса точности подшипника.

- точность взаимного расположения поверхностей. Для большинства валов главным является обеспечение соосности рабочих поверхностей, а также перпендикулярности рабочих торцов базовым поверхностям. Как правило, эти величины выбираются по V...VII степеням точности.

- качество поверхностного слоя. Шероховатость базовых поверхностей обычно составляет  $Ra = 3,2...0,4$  мкм, рабочих торцов  $Ra = 3,2...1,6$  мкм, остальных несоответственных поверхностей  $Ra = 12,5...6,3$  мкм.

Валы могут быть сырыми и термообработанными. Твердость поверхностных слоев, способ термообработки могут быть весьма разнообразными в зависимости от конструктивного назначения валов. Если значение твердости не превышает HB 200...230, то заготовки подвергают нормализации, отжигу или термически не обрабатывают. Для увеличения износостойкости валов повышают твердость их рабочих поверхностей. Часто это достигается поверхностной закалкой токами высокой частоты, обеспечивающей твердость HRC<sub>3</sub>48...55. Поверхности валов из низкоуглеродистых марок стали подвергают цементации на глубину 0,7... 1,5 мм с последующей закалкой и отпуском. Таким способом можно достичь твердости HRC<sub>3</sub>55...60.

Наличие остаточных напряжений в поверхностных слоях и их знак регламентируются редко и в основном для очень ответственных валов.

*Валы в основном изготавливают из конструкционных и легированных сталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, хорошей обрабатываемости, малой чувствительности к концентрации напряжений, а также повышенной износостойкости.*



Этим требованиям, в определенной степени, отвечают стали марок 35, 40, 45, 40Г, 40ХН и др. Достаточно редко валы отливают из чугуна.

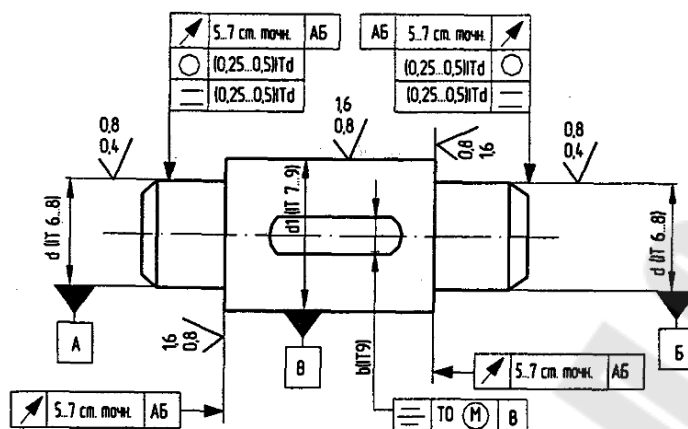


Рис. 3.12 – Эскиз вала с типовыми техническими требованиями

Основными базами подавляющего большинства валов являются поверхности его опорных шеек. Однако использовать их в качестве технологических баз для обработки наружных поверхностей, как правило, затруднительно, особенно при условии сохранения единства баз. Поэтому при большинстве операций за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий с обоих торцов заготовки, что позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности вала на постоянных базах с установкой его в центрах.

При этом может возникать погрешность базирования, влияющая на точность взаимного расположения шеек, равная величине несоответствия оси центровых отверстий и общей оси опорных шеек.

Для установки заготовок используют патроны:

- самоцентрирующиеся двух- трех- и четырехкулачковые;
- магнитные.

При установке заготовок в центрах используются следующие центры: вращающиеся, плавающие, рифленые, сферические, задний срезанный центр и т. д.

Использование центров в качестве установочных элементов предусматривает применение того или иного поводкового устройства, передающего крутящий момент заготовке. Таковыми устройствами являются поводковые патроны, хомутики и т. п.

Основные способы установки валов приведены на рис. 3.13.

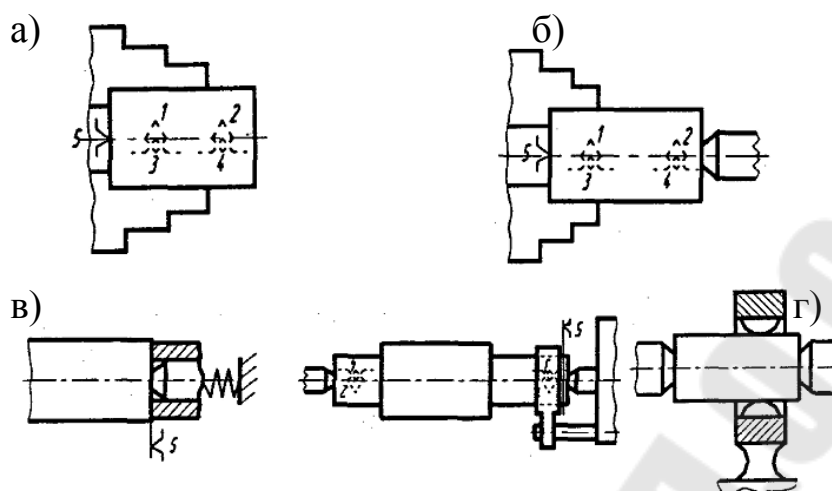


Рис. 3.13 – Основные способы установки валов:  
 а – в патроне ( $l/d < 4$ ); б – патроне с поджимом задним центром ( $4 < l/d < 7$ );  
 в – в центрах ( $7 < l/d < 10$ ); г – в центрах с люнетом ( $l/d > 10$ )

Наружные и внутренние цилиндрические поверхности и прилегающие к ним торцы образуют детали типа тел вращения. В свою очередь, детали тела вращения делят на три типа в зависимости от соотношения длины детали  $L$  к наибольшему наружному диаметру  $D$ . При  $L/D > 2$  - это валы: шпиндели, штоки, шестерни, гильзы, стержни и т.п; при  $L/D > 0,5$  включительно — втулки, стаканы, пальцы, барабаны и др.; при  $L/D < 0,5$  включительно — диски, кольца, фланцы, шкивы и т. п.

Детали, имеющие поверхности вращения (цилиндрические наружные, фасонные, цилиндрические внутренние и др.), обрабатывают на различных станках: токарной группы (токарно-винторезные, токарно-карусельные, токарно-револьверные, одношпиндельные и многошпиндельные полуавтоматы и автоматы, станки для тонкого точения и др.); шлифовальной группы (круглошлифовальные, бесцентрово-шлифовальные, притирочные, полировальные и т. п.). Станки этих групп применяют как обычные, так и с числовым программным управлением (ЧПУ).

Среднеэкономические варианты достижения точности обработки цилиндрических поверхностей представлены в табл.3.1.

Таблица 3.1 – Основные методы и виды обработки цилиндрических поверхностей

Точение				Шлифование				Отделочная обработка				Обработка давлением													
Черновое		Получистовое		Чистовое		Тонкое		Предварительное		Чистовое		Тонкое		Хонингование		Доводка (тонкая притирка)		Суперфиниш		Полирование		Обкатывание		Выглаживание	
IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra
14...12																									
50...12,5																									
13...11																									
25...3,2																									
10...8																									
6,3...1,6																									
8...7																									
1,6...0,4																									
9...8																									
6,3...0,4																									
7...6																									
1,6...0,4																									
6...5																									
1,6...0,1																									
5...4																									
0,4...0,08																									
5...3																									
0,16...0,01																									
5...3																									
0,1...0,01																									
4...3																									
0,1...0,01																									
10...8																									
0,08...0,01																									
7...6																									
0,8...0,05																									

### 3.3.2. Обработка на токарных станках

При токарной обработке различают:

- а) черновое точение (или обдирочное) — с точностью обработки IT13 – IT12 и шероховатостью поверхности Ra до 6,3 мкм;
- б) получистовое точение — IT13 – IT12 и шероховатость до Ra= 1,6 мкм;
- в) чистовое точение — IT12 – IT11 и шероховатость до Ra = 0,4 мкм.

При черновом обтачивании, как и при любой черновой обработке снимают до 70 % припуска. При этом назначаются максимально возможные глубина резания  $t$  и подача  $S$ .

#### Обработка на токарно-винторезных станках

Токарные станки подразделяются на универсальные и специализированные. Универсальные станки, применяемые в единичном и серийном производстве, в свою очередь подразделяются на токарно-винторезные и непосредственно токарные. Универсальные токарно-винторезные станки предназначены для выполнения самых разнообразных операций по

обработке наружных и внутренних цилиндрических, конических и торцовых поверхностей; нарезанию наружных и внутренних резьб; отрезке, сверлению, зенкерование и развертыванию отверстий. Универсальные токарные станки по компоновке аналогичны токарно-винторезным, но не имеют ходового винта, поэтому они выполняют все перечисленные виды работ, кроме нарезания резьбы резцами.

На специализированных токарных станках выполняют более узкий круг операций, например, точение гладких и ступенчатых валов, прокатных валков, обработку коленчатых валов и других деталей в условиях массового производства.

Токарно-винторезные станки практически имеют однотипную компоновку (рис. 3.14,а) и предназначены для выполнения разнообразных токарных работ, для нарезания метрической, дюймовой, модульной и питчевой, правой и левой, с нормальным и увеличенным шагом, одно и многозаходных резьб, для нарезания торцовой резьбы и для копировальных работ (с помощью прилагаемого к станку гидроконтрольного устройства). Станок применяется в условиях индивидуального и мелкосерийного производства.

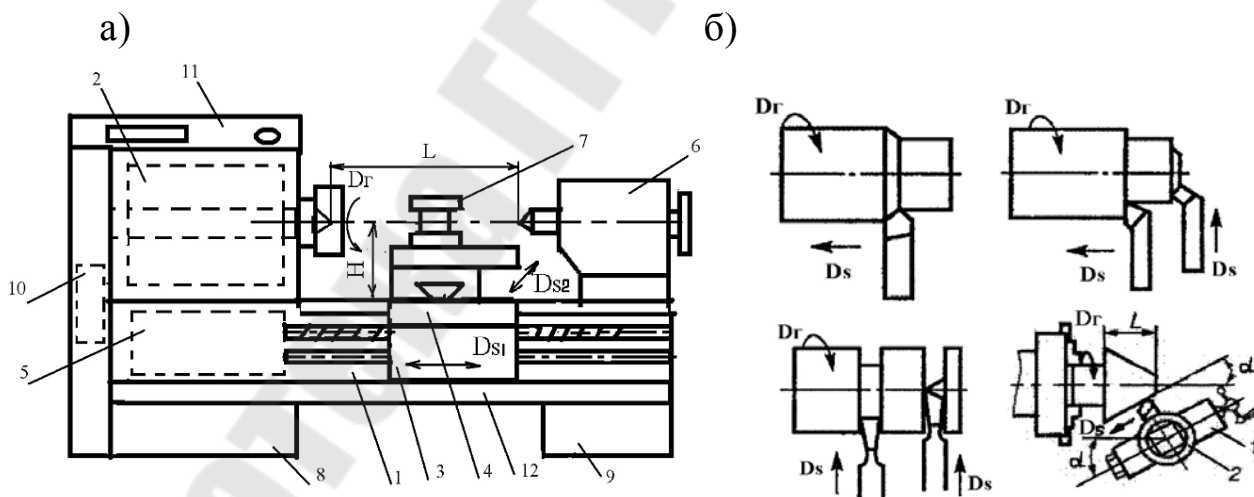


Рис. 3.14 – Компоновка токарно-винторезного станка (а) и схемы обработки (б)

Обрабатываемая деталь устанавливается в центрах или закрепляется в патроне. В резцедержателе могут быть закреплены одновременно четыре резца. Поворотом резцедержателя каждый из

четырёх резцов может быть установлен в рабочее положение. Инструменты для обработки отверстий вставляются в пиноль задней бабки. Прилагаемый к станку гидроконтрольный суппорт благодаря наличию следящей системы позволяет обрабатывать партии ступенчатых и фасонных деталей по шаблону или эталонной детали, без промеров и ручного управления станком в процессе обработки. Сочетанием формообразующих движений детали и инструмента на станке возможно обрабатывать цилиндрические, конические, винтовые и торцовые поверхности (рис. 3.14. б).

### Обработка на токарно-карусельных станках

На универсальных токарно-карусельных станках обрабатывают заготовки деталей типа тел вращения разнообразной формы диаметром до 10000 мм при  $l/d < 1$ . Основными типами токарно-карусельных станков, выпускаемых станкостроительной промышленностью, являются одностоечные с одним вертикальным суппортом с пятипозиционной револьверной головкой и боковым суппортом с четырехрезцовым поворотным резцедержателем (рис. 3.15, а); двухстоечные с двумя вертикальными и одним боковым суппортами (рис. 3.15, б).

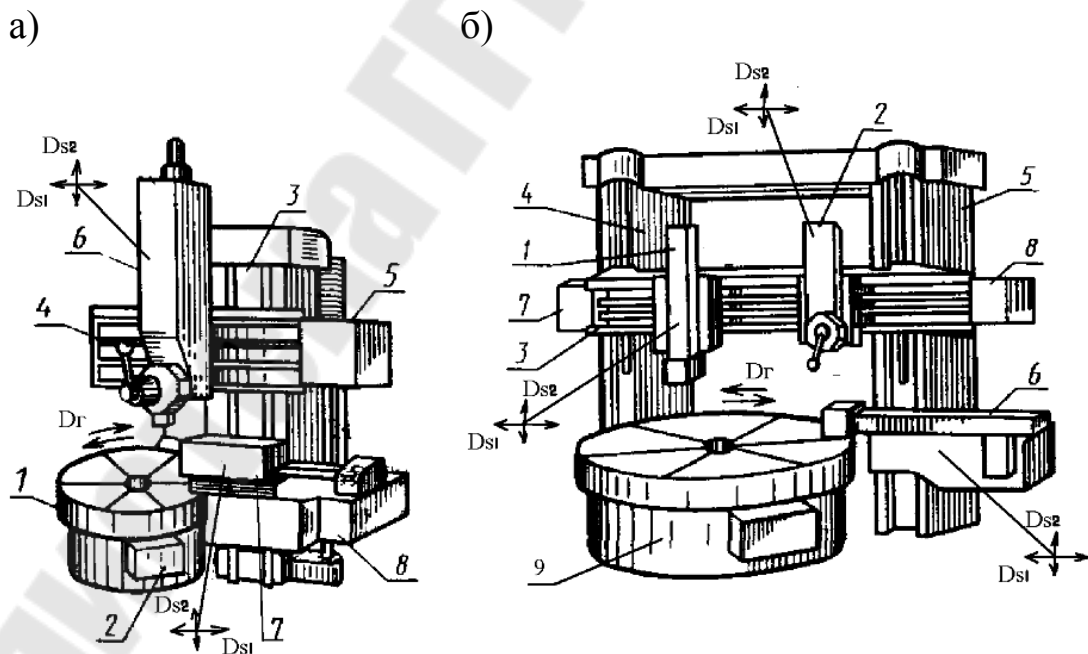


Рис. 3.15-. Компоновки токарно-карусельных станков

Токарно-карусельные станки с ЧПУ позволяют автоматизировать обработку и в 2...2.5 раза повысить производительность труда.

Схемы обработки цилиндрических поверхностей приведены на рис. 3.16

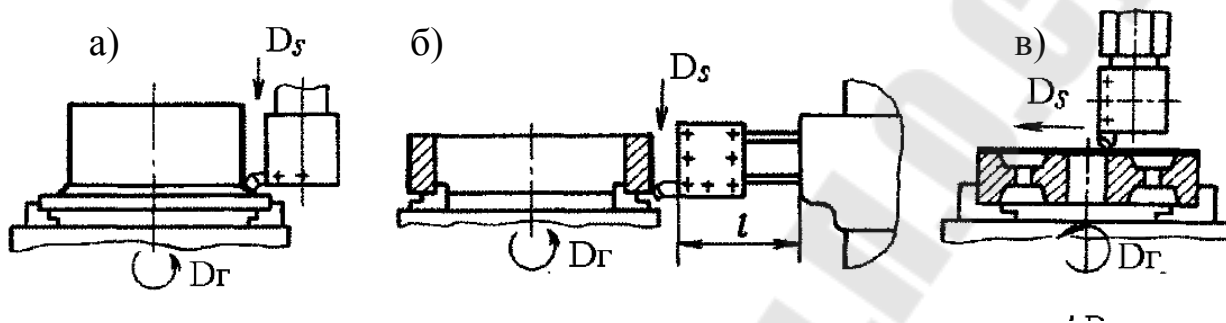


Рис. 3.16 – Схемы обработки на токарно-карусельном станке

### 3.3.3. Обработка на токарно-револьверных станках

На токарных станках общего назначения переходы сложной операции выполняют последовательно один за другим. При обработке на токарно-револьверных станках в серийном производстве производительность труда повышают путем совмещения переходов операции и применения многоинструментных наладок. На токарно-револьверных станках обрабатывают разнообразные заготовки деталей типа тел вращения из пруткового материала или из штучных заготовок. При одностороннем расположении ступеней и длине вала до 120 мм обработку производят из прутка, выполняя до отрезки детали, все черновые и чистовые переходы. Уменьшение отжима прутка при обработке обеспечивается использованием люнетов и многолезцовых державок для уравнивания силы резания.

Применение токарно-револьверных станков считается рациональным в том случае, если по технологическому процессу обработки детали требуется применение большого количества режущего инструмента и размер партии детали составляет не менее 10—20 шт.

К преимуществам токарно-револьверных станков по сравнению с токарными относятся возможность сокращения машинного и вспомогательного времени на счет применения многолезцовых

державок и одновременной обработки детали инструментом, установленным на револьверной головке и поперечном суппорте, а также сравнительно малые затраты времени за счет предварительной настройки станка на обработку детали многими инструментами.

Токарно-револьверные станки в зависимости от вида обрабатываемых заготовок бывают прутковые и патронные. Обычно станки малого размера — прутковые, а среднего размера — как прутковые, так и патронные. Крупные револьверные станки обычно патронные. Все эти станки делятся на станки с вертикальной (рис. 3.17, а) и станки с горизонтальной (рис. 3.17, в) осью вращения револьверной головки.

Характерной особенностью токарно-револьверных станков является наличие револьверной головки, в которой размещается режущий инструмент (рис. 3.17, б и г).

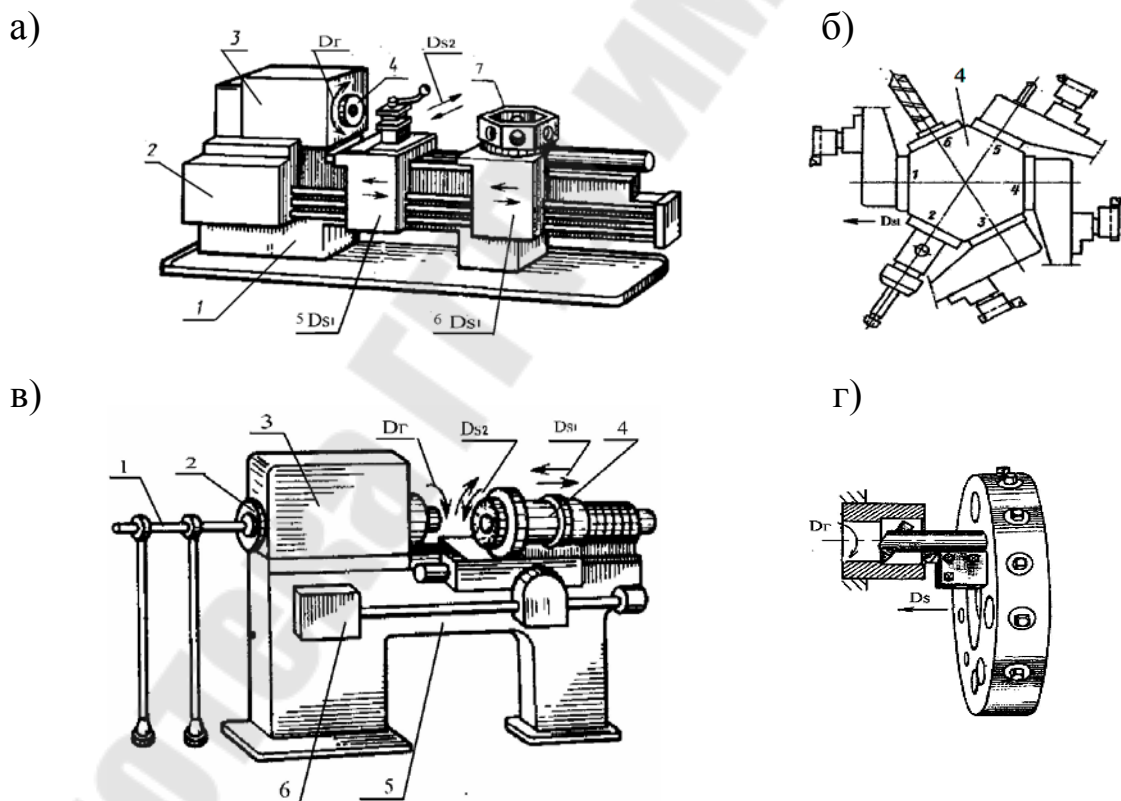


Рис. 3.17 – Компонировка токарно-револьверных станков (а, в) и закрепление инструмента в револьверной головке (б, г)

Револьверные головки бывают призматические и цилиндрические. Призматические головки (рис. 3.18,а) обычно имеют вертикальную ось и шесть граней с гнездами. Цилиндрические

головки делают с горизонтальной осью вращения и расположением горизонтальной оси головки параллельно (рис. 3.18,б) или перпендикулярно оси шпинделя станка (рис. 3.18,в).

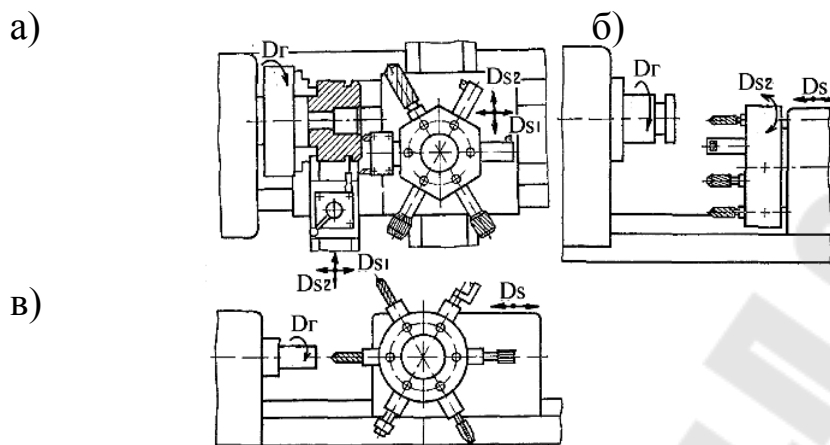


Рис. 3.18 – Типы револьверных головок

Токарно-револьверные станки при обработке наружных поверхностей обеспечивают точность по 12...9 квалитетам и параметр шероховатости поверхности  $Ra = 12,5...6,3$  мкм.

Совмещение переходов обработки в операции типично для револьверных станков (рис. 3.19).



Рис. 3.19 – Закрепление инструмента и схема обработки при совмещении переходов

### 3.3.4. Обработка на токарных многорезцовых станках и копировальных полуавтоматах

Токарно-многорезцовые станки рассчитаны (так же, как и револьверные станки) на повышение производительности труда путем совмещения переходов операций и автоматического получения



операционных размеров. Эти станки предназначены для обработки (в патроне или в центрах) заготовок деталей типа ступенчатых валов, блоков шестерен, валов-шестерен, фланцев, шкивов и т. п. в условиях среднесерийного и крупносерийного производства.

Токарные многорезцовые станки и копировальные полуавтоматы имеют два суппорта, работают в полуавтоматическом цикле. Они, как правило, одношпиндельные с горизонтальной и вертикальной компоновками. Обычно на многорезцовых станках обрабатывают заготовки диаметром до 500 мм, длиной до 1500 мм.

Общий вид многорезцового станка и схема наладки для обработки ступенчатых валов приведены на рис. 3.20. Настройка резцов производится так, чтобы обработка всех участков вала заканчивалась одновременно (рис. 3.20. б).

Основное время рассчитывают для резца, который обтачивает наиболее длинную поверхность (или в совокупности по двум и более поверхностям, образующим общую длину обработки).

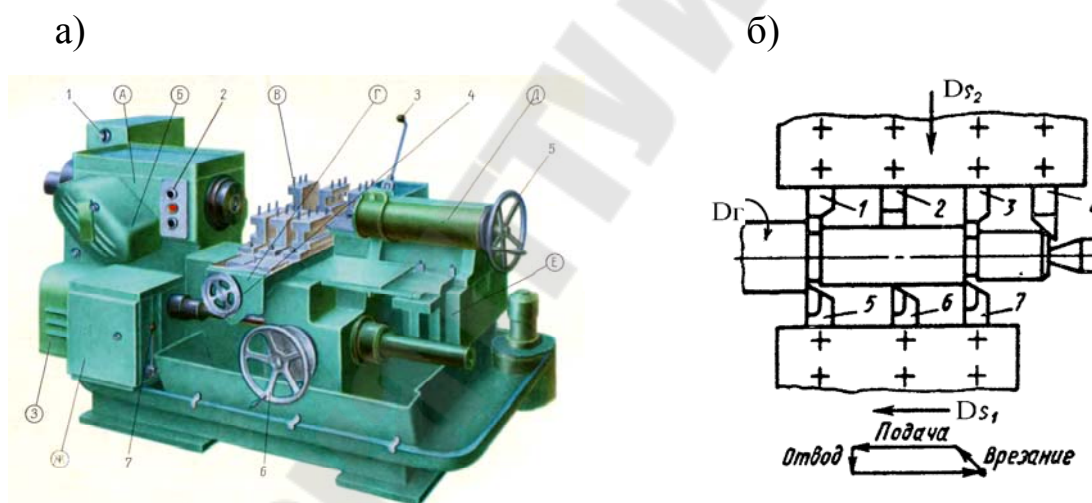


Рис. 3.20 – Общий вид многорезцового станка (а) и схема обработки (б)

Точность обработки на многорезцовых станках обеспечивается в пределах 13... 14 квалитетов. Для повышения производительности при обработке ступенчатых жестких заготовок в крупносерийном и массовом производствах применяют точение широкими резцами с поперечной подачей.

На рис. 3.21 представлены общий вид и схема обработки на копировальном полуавтомате.

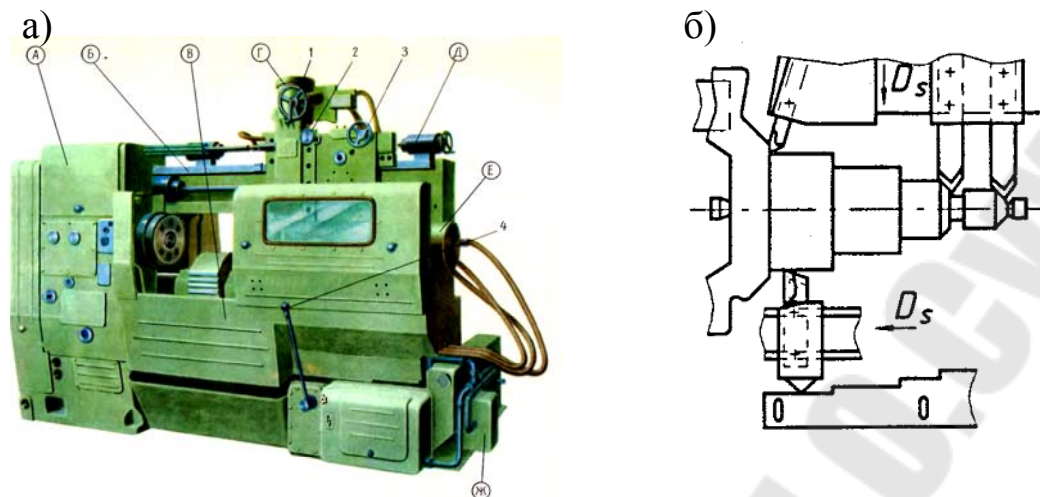


Рис. 3.21 – Общий вид копировального полуавтомата (а) и схема обработки (б)

### 3.3.5. Обработка на одношпиндельных и многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах

В крупносерийном и массовом производстве наружные цилиндрические поверхности заготовок деталей типа тел вращения в основном обрабатывают на автоматах и полуавтоматах.

Автоматы и полуавтоматы, в зависимости от компоновок, делятся на горизонтальные и вертикальные, а по числу шпинделей — на одношпиндельные и многошпиндельные. Горизонтальные одношпиндельные автоматы подразделяют на фасонно-отрезные автоматы, автоматы продольного точения и токарно-револьверные.

Одношпиндельные токарные фасонно-отрезные автоматы предназначены для изготовления небольших деталей (диаметром до 40 мм) простой формы из калиброванной проволоки круглого, квадратного, шестигранного или другого сечения, свернутой в бунт (рис. 3.22, а).

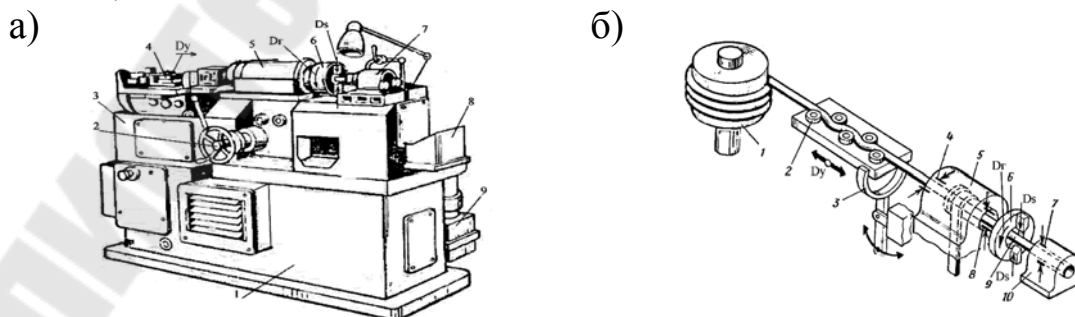


Рис. 3.22 – Общий вид токарного фасонно-отрезного автомата (а) и схема обработки (б)

Автомат обеспечивает высокую точность обработки торцов деталей при отрезке, так как заготовка закреплена и в момент отрезания не отламывается от прутка, а также высокую производительность.

На автоматах продольного точения изготавливают детали из прутка диаметром до 30 мм и длиной до 100 мм, при этом обеспечивается точность по 7...6 квалитетам к  $Ra = 0,63...0,16$  мкм. (рис. 3.23). Такие автоматы чаще всего применяют в часовой, радио- и приборостроительной промышленности.

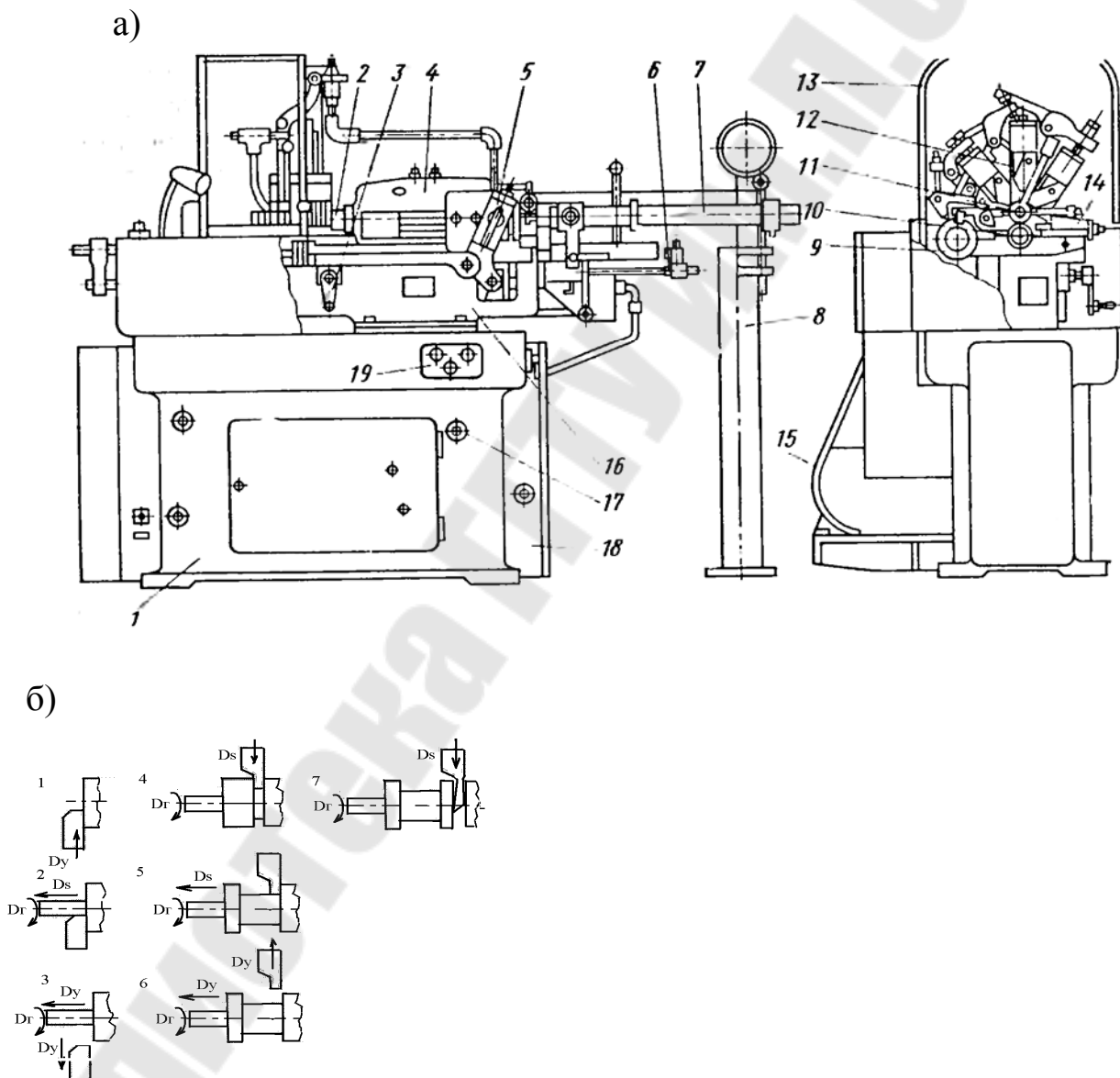


Рис. 3.23 – Общий вид автомата продольного точения (а) и схема обработки (б)

Продольным точением называется такой метод обработки, при котором профиль детали обрабатывается неподвижным резцом при продольной подаче прутка, а также поперечно перемещающимися резцами после прекращения перемещения прутка.

На токарно-револьверных автоматах изготавливают детали сложной формы из прутков диаметром 10...63 мм, точность обработки соответствует 10...8-му квалитетам,  $Ra = 2,5...0,63$  мкм. (рис. 3.24).

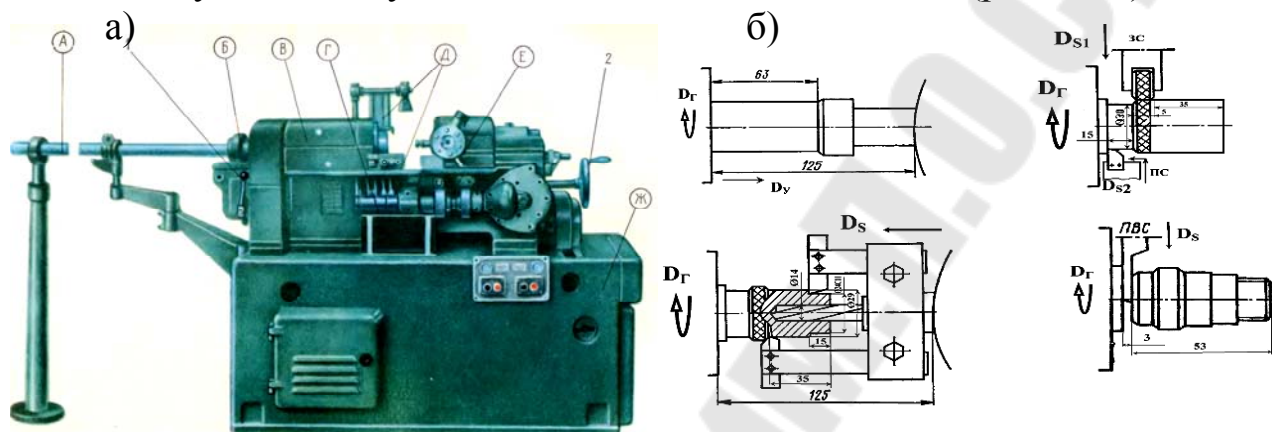


Рис. 3.24 – Общий вид токарно-револьверного автомата с горизонтальной осью вращения револьверной головки (а) и схема обработки (б)

Первым переходом является подача прутка до упора, закрепленного в револьверной головке (рис. 3.24, б). В поперечных суппортах закрепляются инструменты, работающие в радиальном направлении: канавочные, прорезные, галтельные, отрезные резцы, накатные ролики и др. В револьверном суппорте закрепляются резцы, работающие при продольном перемещении, а также осевой инструмент.

Многошпиндельные горизонтальные автоматы и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные прутковые автоматы и патронные полуавтоматы. Горизонтальные многошпиндельные автоматы предназначены для изготовления различных деталей из калиброванных прутков круглого, квадратного или шестигранного сечения из различных марок стали и цветных сплавов. В качестве заготовок могут использоваться также трубы.

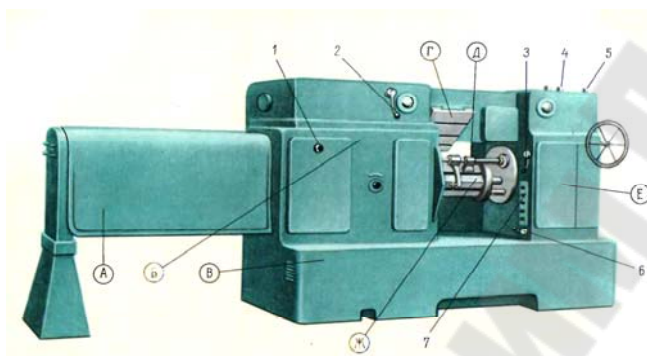
Автоматы имеют высокую производительность.

Токарные многошпиндельные прутковые автоматы (четырёх-, шести- и восьмишпиндельные) применяют для обработки заготовок

из прутков диаметром 12... 100 мм и длиной до 160 мм. Точность обработки обеспечивается в пределах 7... 10-го квалитетов,  $R_a = 2,5...0,63$  мкм. (рис. 3.25)

На многошпиндельных автоматах можно выполнять следующие операции обработки: черновое, чистовое и фасонное точение, подрезку, отрезку, снятие фасок, проточку канавок, сверление, зенкерование, нарезание резьбы, а также накатку рифлений, резьбы, клеймение и др.

а)



б)

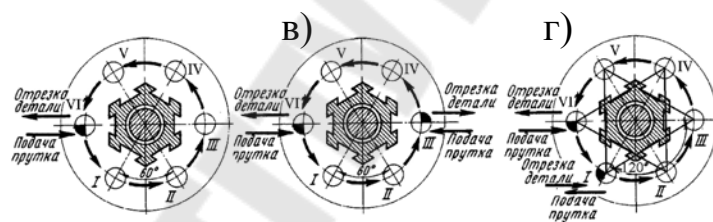


Рис. 3.25 – Общий вид токарного многошпиндельного горизонтального автомата (а) и схемы последовательной (б) и последовательно-параллельной (в – с одинарной индексацией, г – с двойной индексацией) обработкой заготовок на многошпиндельных автоматах

На токарных многошпиндельных патронных полуавтоматах обрабатывают, как правило, штучные заготовки длиной до 200 мм и диаметром до 200 мм в зависимости от модели станка. По точности они не уступают прутковым автоматам.

При обработке заготовок на автоматах и полуавтоматах применяют различные схемы построения операций (параллельная, последовательная и параллельно-последовательная).

При изготовлении достаточно сложных деталей применяется настройка автомата с последовательной одинарной индексацией (рис. 3.25, б). В этом случае все операции равномерно распределяются по

всем позициям автомата. Пруток, поданный до упора, проходит последовательно через все позиции с получением готовой детали, которая отрезается на последней операции

Если детали относительно простые, применяют метод последовательно-параллельной обработки, который может выполняться по двум вариантам: с одинарной индексацией (рис. 3.25, в) и двойной индексацией (рис. 3.25, г). При первом варианте изготовление двух одинаковых или разных деталей производится параллельно в трех последовательных позициях I, II, III, для первой детали и в трех позициях IV, V, VI для второй детали. В этом случае поворот шпиндельного блока осуществляется как обычно, на одну позицию (с одинарной индексацией). Данный вариант обработки может быть осуществлен на 4-х и 8-ми шпиндельных автоматах.

При втором варианте (рис. 3.25, г) изготовление двух разных или двух одинаковых деталей производится также в параллельных позициях I, III, V для первой детали и в позициях II, IV, VI для второй детали. В этом случае поворот шпиндельного блока осуществляется сразу на две позиции (с двойной индексацией), а отрезка готовых деталей и подача прутков до упора производится в двух соседних позициях I и II. Данный вариант может быть осуществлен и на 8-ми шпиндельных автоматах.

Обработка на многошпиндельных вертикальных полуавтоматах.  
В массовом и крупносерийном производстве для обработки наружных цилиндрических поверхностей заготовок деталей типа тел вращения широкое применение нашли многошпиндельные токарные вертикальные полуавтоматы последовательного и непрерывного (параллельного) действия

На рис. 3.26, а представлена схема шестишпиндельного полуавтомата последовательного действия. На основании 1 установлена колонна 4, вокруг которой периодически поворачивается стол 2 с шестью шпинделями 3. Пять суппортов 5 с режущими инструментами обслуживают одновременно пять шпинделей. В загрузочной позиции I снимают готовую деталь и устанавливают новую заготовку. После поворота стола на  $1/6$  оборота шпиндели получают вращение, а на позиции I снова снимают готовую деталь и устанавливают новую заготовку и т. д. В позициях II—VI выполняется один или несколько переходов. Время одного цикла работы таких полуавтоматов складывается из времени обработки на наиболее трудоемкой позиции и времени, необходимого на

выполнение холостых ходов (поворот, фиксация стола, трудоемкий съем готовой детали и установка заготовки)

На этих полуавтоматах обрабатывают шестерни, ступицы, муфты, шкивы, фасонные и некоторые корпусные детали. На них обтачивают цилиндрические и конические поверхности, подрезают торцы, растачивают отверстия, прорезают канавки, сверлят, зенкеруют и развертывают отверстия, расположенные по оси вращения и удаленные от этой оси.

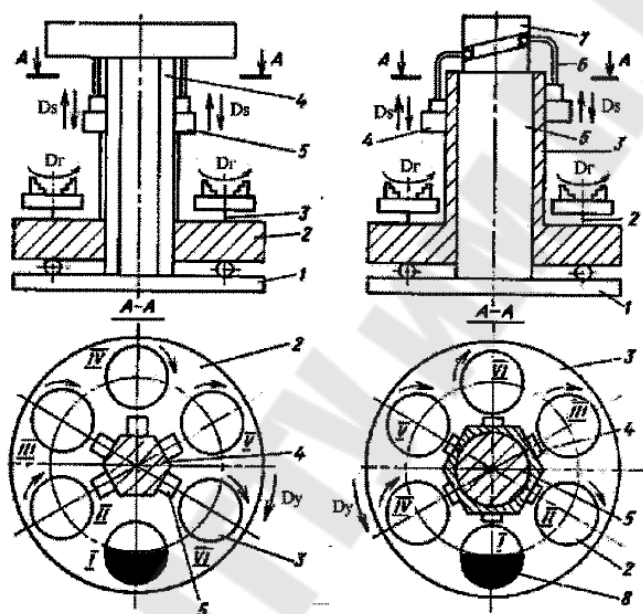


Рис. 3.26 – Принципиальные схемы вертикальных многошпиндельных полуавтоматов

Многошпиндельные автоматы непрерывного (параллельного) действия предназначены для обработки деталей несложной формы в центрах или патронах (рис. 3.26, б). На этих станках достигается точность 10 – 11-го качества и параметр шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 2,5$  мкм. На указанных станках обтачивают поверхности, растачивают отверстия, подрезают торцы или осуществляют комбинацию этих переходов при предварительной и окончательной обработке. На указанных полуавтоматах при установке в центрах обрабатывают детали типа валов, при установке в патронах – типа барабанов.

### 3.3.6. Методы чистовой обработки наружных цилиндрических поверхностей

К методам чистовой обработки относятся тонкое точение и различные методы шлифования. Они, как правило, позволяют обеспечить требуемую точность размеров, формы, взаимного расположения и, в большинстве случаев, качество поверхностного слоя.

#### Тонкое (алмазное) точение

Тонкое точение применяется, главным образом, для отделки деталей из цветных металлов и сплавов (бронза, латунь, алюминиевые сплавы и другие) и отчасти для деталей из чугуна и закаленных сталей (HRC<sub>3</sub>45...60). Объясняется это тем, что шлифование цветных металлов и сплавов значительно труднее, чем стали и чугуна, вследствие быстрого засаливания кругов. Кроме того, имеются некоторые детали, шлифование которых не допускается из-за возможного шаржирования поверхности.

Тонкое точение обеспечивает получение наружных цилиндрических поверхностей вращения правильной геометрической формы с точным пространственным расположением осей и является высокопроизводительным методом.

При тонком точении используются алмазные резцы или резцы, оснащенные твердым сплавом (ТЗ0Т4, синтетические сверхтвердые материалы типа оксидная керамика ВОК6О ( $Al_2O_3 + TiC$ ) и оксидно-нитридная керамика «кортинит» ( $Al_2O_3 + TiN$ ) гексанит –Р, эльбор – Р.

Тонкое точение характеризуется незначительной глубиной резания ( $t = 0,05...0,2$  мм), малыми подачами ( $S = 0,02...0,2$  мм/об) и высокими скоростями главного движения резания ( $V = 120... 1000$  м/мин). Точность размеров IT5...IT6;  $Ra = 0,8...0,4$  мкм.

Подготовка поверхности под тонкое точение сводится к чистовой обработке с точностью IT9...IT10. Весь припуск снимается за один рабочий ход. Применяются станки особо высокой точности, жесткости и виброустойчивости. На этих станках не следует выполнять другие операции

#### Шлифование

Шлифование наружных поверхностей деталей типа тел вращения производят на круглошлифовальных, торцекруглошлифовальных станках, бесцентрово-шлифовальных



полуавтоматах и автоматах как высокой, так и особо высокой точности.

Шлифование — основной метод чистовой обработки наружных цилиндрических поверхностей. Шейки валов шлифуют в две операции: предварительное и чистовое шлифование. После чистового шлифования точность размера IT8, шероховатость  $Ra = 1,6 \dots 0,4$  мкм.

Как правило, все наружные цилиндрические поверхности с точностью выше IT8 и шероховатостью  $Ra = 1,6 \dots 0,4$  мкм подвергают после чистового точения шлифованию.

При обработке на круглошлифовальных и торцекруглошлифовальных станках заготовки устанавливают в центрах, патроне, цанге или в специальном приспособлении.

Заготовке сообщается вращение с окружной скоростью  $V_{\text{заг}} = 10 \dots 50$  м/мин, которая зависит от диаметра обработки заготовки. Окружная скорость шлифовального круга (скорость главного движения резания)  $V = 30 \dots 60$  м/с.

При обработке на круглошлифовальных станках (рис. 3.27, а) различают следующие разновидности шлифования: продольное (с продольным движением подачи – рис. 3.27, б), глубинное (рис. 3.27, в) и врезное (с поперечным движением подачи – рис. 3.27, г).

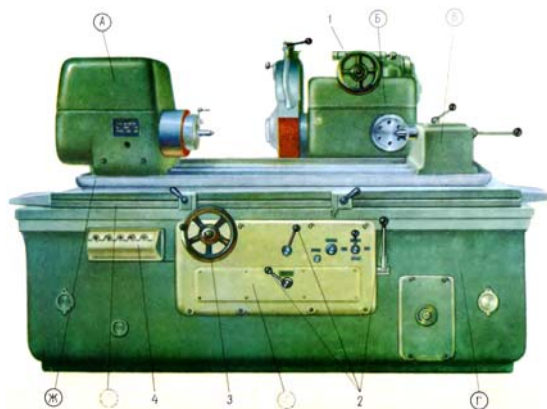
Шлифование с продольным движением подачи (рис. 3.27, б) применяют при обработке цилиндрических деталей значительной длины и осуществляют за четыре этапа: врезание, чистовое шлифование, выхаживание и отвод.

Способ глубинного шлифования (рис. 3.27, в), при котором шлифовальный круг, имеющий заборную часть, устанавливают на полную глубину припуска на обработку.

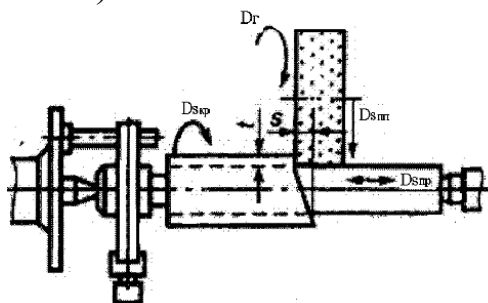
Наиболее часто данный способ шлифования применяется для обработки жестких валов, не требующих особо высокой точности изготовления.

Врезное шлифование (рис. 3.27, г) применяют для обработки поверхностей, длина которых не превышает ширину шлифовального круга. Его преимущество — большая производительность и простота наладки, однако оно уступает продольному шлифованию по достигаемому качеству поверхности. Врезное шлифование широко применяют в массовом и крупносерийном производстве. Рекомендуемые скорости главного движения резания  $V = 50 \dots 60$  м/с; радиальная (поперечная) подача при окончательном шлифовании  $S_{\text{non}} = 0,001 \dots 0,005$  мм/об.

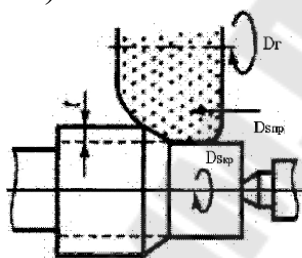
а)



б)



в)



г)

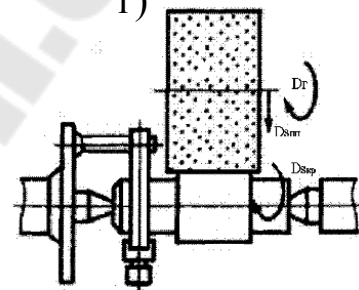
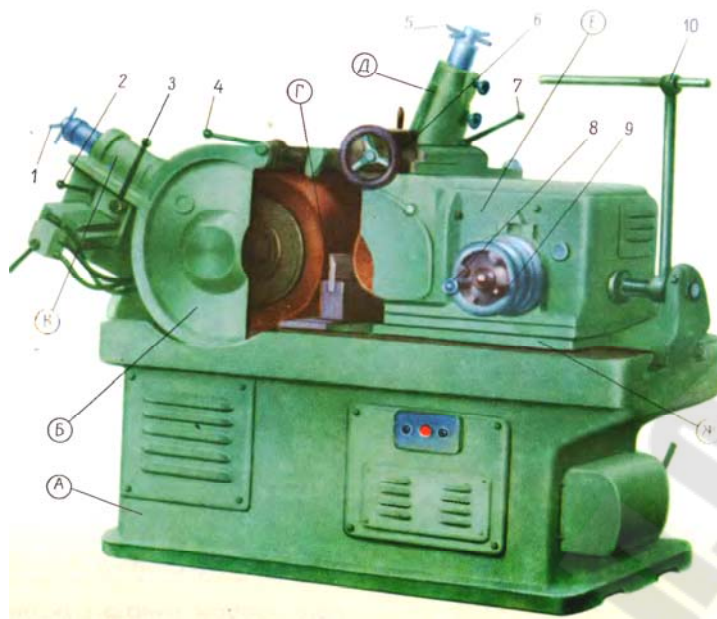


Рис. 3.27 – Круглошлифовальный станок (а) и схемы обработки (б, в, г)

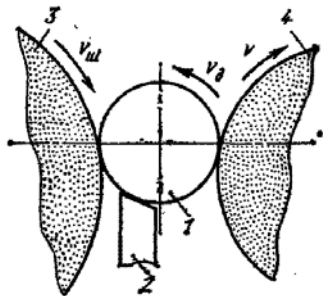
При значительном объеме производства *применяют бесцентровое шлифование*, которое более производительнее, чем в центрах.

Сущность бесцентрового шлифования (рис. 3.28, б) заключается в том, что шлифуемая заготовка 1 помещается между шлифовальным 3 и ведущим 4 кругами и поддерживается ножом (опорой) 2. Центр заготовки при этом должен быть несколько выше линии, соединяющей центры обоих кругов на  $0,5d$ , но не более чем на 14 мм во избежание получения огранки. Шлифовальный круг имеет окружную скорость  $V_K = 30...65$  м/с, а ведущий —  $V_B = 10...40$  м/мин. Так как коэффициент трения между кругом 4 и обрабатываемой заготовкой больше, чем между заготовкой и кругом 3, то ведущий круг сообщает заготовке вращение со скоростью круговой подачи  $V_B$ . Благодаря скосу ножа, направленному в сторону ведущего круга, заготовка прижимается к этому кругу. Продольная подача заготовки обеспечивается за счет наклона ведущего круга на угол  $\alpha$  (рис. 3.28, в) или опорного ножа (рис. 3.28, г).

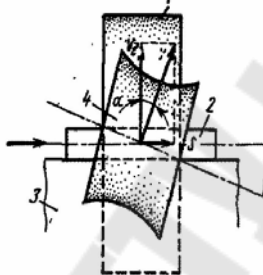
а)



б)



в)



г)

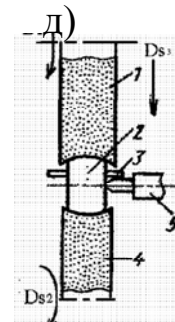
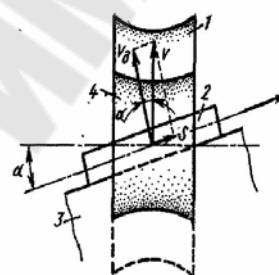


Рис. 3.28 – Бесцентрово-шлифовальный станок (а), схема шлифования (б) и осуществления продольной подачи заготовки (в, г)

На бесцентрово-шлифовальных полуавтоматах и автоматах можно шлифовать заготовки деталей типа тел вращения с цилиндрическими, коническими и фасонными поверхностями. Применяют два метода шлифования: проходное (способ продольного движения подачи, рис. 3.28, в, г) и врезное (способ поперечного движения подачи, рис. 3.28, д).

При проходном шлифовании за несколько рабочих ходов можно достигнуть точности по 6-му качеству и  $Ra = 0,2$  мкм.

Врезным шлифованием (рис. 3.28, д) обрабатывают заготовки круглых деталей с уступами, а также заготовки, имеющие форму конуса. При этом методе оси кругов параллельны или ведущий круг 4 устанавливается под малым углом ( $\alpha = 0,2...0,5^\circ$ ), а осевому

перемещению обрабатываемой заготовки препятствует установленный упор 5.

Перечисленные методы шлифования применяют как для предварительной, так и для чистовой обработки. В качестве отделочной обработки используют тонкое шлифование. Тонкое шлифование дает возможность получить высокую точность (по 5...6 квалитетам) и  $Ra = 0,1\text{мкм}$ . Тонкое шлифование осуществляется мягкими мелкозернистыми кругами. Рабочая скорость круга более 40 м/с при небольшой окружной скорости обрабатываемой заготовки (до 10 м/мин) и малой глубине шлифования (до 5 мкм). Процесс осуществляется с обильным охлаждением.

### 3.3.7. Обработка на валах элементов типовых сопряжений

Кроме цилиндрических и конических поверхностей вращения валы обычно содержат также и другие элементы, к которым относятся шпоночные пазы, шлицевые и резьбовые поверхности и т. п.

Для передачи крутящего момента деталям, сопряженным с валом, широко применяют шпоночные и шлицевые соединения.

#### Обработка на валах шпоночных пазов

Наибольшее распространение в машиностроении получили призматические и сегментные шпонки.

Шпоночные пазы для призматических шпонок могут быть сквозными (рис. 3.29, а), закрытыми с одной стороны (рис. 3.29, б), закрытыми с двух сторон, т. е. глухими (рис. 3.29, в). Наименее технологичными являются глухие шпоночные пазы. Предпочтительнее применение сквозных пазов и пазов закрытых с одной стороны, но с радиусным выходом. К технологическим задачам при обработке шпоночных пазов относятся требования по точности ширины паза (по IT9), глубины паза (с рядом отклонений: + 0,1; + 0,2; + 0,3), длины (по IT15). Требуется обеспечить также симметричность расположения паза относительно оси шейки, на которой он расположен.

Установка валов при обработке пазов обычно производится на призме или в центрах (рис. 3.30).

При проектировании техмаршрута операция «фрезеровать шпоночный паз» располагается после обтачивания шейки, до ее шлифования, так как вследствие удаления части материала посадочное место вала иногда деформируется.

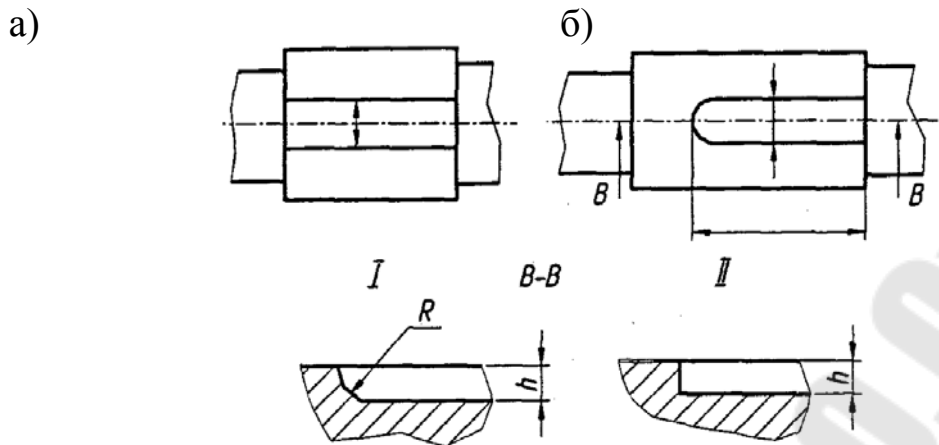


Рис. 3.29 – Виды шпоночных пазов:  
 а – сквозные; б – закрытые с одной стороны (I – с радиусным выходом;

II – с выходом под концевую фрезу)

Шпоночные пазы изготавливаются различными способами в зависимости от конфигурации паза и вида применяемого инструмента; они выполняются на горизонтально-фрезерных или вертикально-фрезерных станках общего назначения или специальных.

Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные пазы изготавливаются фрезерованием дисковыми фрезами (рис. 3.30, а). Фрезерование пазов производится за один-два рабочих хода. Этот способ наиболее производителен и обеспечивает достаточную точность ширины паза.

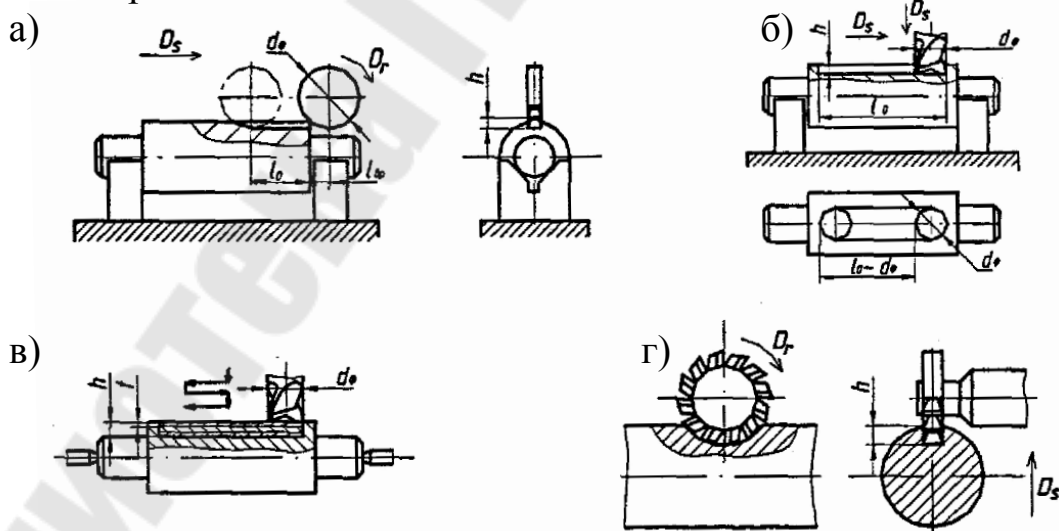


Рис. 3.30 – Методы фрезерования шпоночных пазов:  
 а – дисковой фрезой с продольной подачей; б – концевой фрезой с продольной подачей; в – шпоночной фрезой с маятниковой подачей;  
 г – дисковой фрезой с вертикальной подачей

Применение этого способа ограничивает конфигурация пазов: закрытые пазы с закруглениями на концах не могут выполняться этим способом; они изготавливаются концевыми фрезами за один или несколько рабочих ходов (рис. 3.30, б).

Фрезерование концевой фрезой за один рабочий ход производится таким образом, что сначала фреза при вертикальной подаче проходит на полную глубину паза, а потом включается продольная подача, с которой шпоночный паз фрезеруется на полную длину. При этом способе требуется мощный станок, прочное крепление фрезы и обильное охлаждение. Вследствие того, что фреза работает в основном своей периферийной частью, диаметр которой после заточки несколько уменьшается, то в зависимости от числа переточек фреза дает неточный размер паза по ширине.

Для получения по ширине точных пазов применяются специальные шпоночно-фрезерные станки с маятниковой подачей, работающие концевыми двуспиральными фрезами с торцовыми режущими кромками. При этом способе фреза врезается на 0,1...0,3 мм и фрезерует паз на всю длину, затем опять врезается на ту же глубину, как и в предыдущем случае, и фрезерует паз опять на всю длину, но в другом направлении (рис. 3.30, в). Отсюда и происходит определение метода — «маятниковая подача». Этот способ является наиболее рациональным для изготовления шпоночных пазов в серийном и массовом производствах, так как дает вполне точный паз, обеспечивающий полную взаимозаменяемость в шпоночном соединении. Кроме того, поскольку фреза работает торцовой частью, она будет долговечнее, так как изнашивается не периферическая ее часть, а торцовая. Недостатком этого способа является значительно большая затрата времени на изготовление паза по сравнению с фрезерованием за один рабочий ход и тем более с фрезерованием дисковой фрезой. Отсюда вытекает следующее: 1) метод маятниковой подачи надо применять при изготовлении пазов, требующих взаимозаменяемости; 2) фрезеровать пазы за один рабочий ход нужно в тех случаях, когда допускается пригонка шпонок по канавкам.

Сквозные шпоночные пазы валов можно обрабатывать на строгальных станках. Пазы на длинных валах, например, на ходовом вале токарного станка, строгают на продольно-строгальном станке. Пазы на коротких валах строгают на поперечно-строгальном станке — преимущественно в единичном и мелкосерийном производствах.

Шпоночные пазы под сегментные шпонки изготавливаются фрезерованием с помощью дисковых фрез (рис. 3.30, г).

Шпоночные пазы в отверстиях втулок зубчатых колес, шкивов и других деталей, надевающихся на вал со шпонкой, обрабатываются в единичном и мелкосерийном производствах на долбежных станках, а в крупносерийном и массовом — на протяжных станках. На рис. 3.31 показано протягивание шпоночного паза в заготовке зубчатого колеса на горизонтально-протяжном станке. Заготовка 1 насаживается на направляющий палец 4, внутри которого имеется паз для направления протяжки 2.

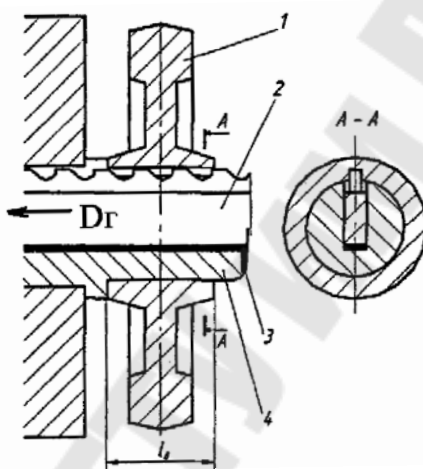


Рис. 3.31 – Протягивание шпоночного паза в отверстии

#### Обработка на валах шлицев

Шлицевые соединения широко применяются в машиностроении (станкостроении, автомобиле- и тракторостроении и других отраслях) для неподвижных и подвижных посадок.

Различают шлицевые соединения прямоугольного, эвольвентного и треугольного профиля.

В наиболее часто используемых шлицевых соединениях прямоугольного профиля сопряженные детали центрируются тремя способами (рис. 3.32):

- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по наружному диаметру ( $D$ ) шлицевых выступов вала;
- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по внутреннему диаметру ( $d$ ) шлицев вала (т. е. по дну впадины);
- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по боковым сторонам ( $b$ ) шлицев.

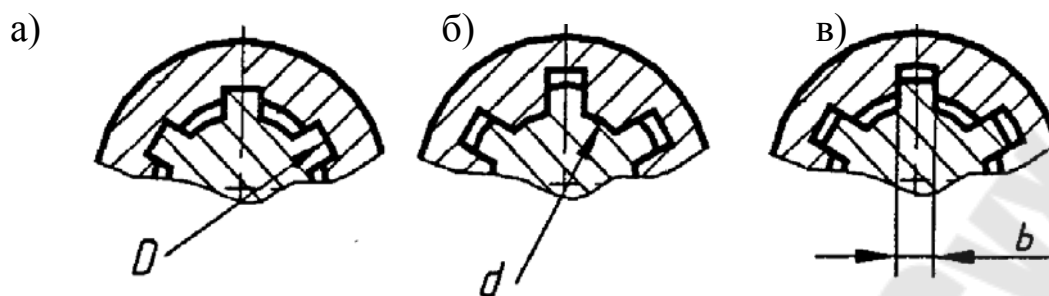


Рис. 3.32 – Виды центрирования шлицевых соединений

Центрирование по (D) (рис. 3.32, а) наиболее технологично, но его использование ограничивается в основном неподвижными шлицевыми соединениями, не требующими повышенной твердости. Центрирование по (d) (рис. 3.32, б) применяется в тех случаях, когда элементы шлицевого соединения используются для подвижных сопряжений, подвергнутых закалке. Центрирование по (b) (рис. 3.32, в) применимо в случае передачи больших крутящих моментов с реверсированием вращения.

Технологический процесс изготовления шлицев валов зависит от того, какой принят способ центрирования вала и втулки, т. е. термообрабатываются или нет поверхности шлицев.

Шлицы на валах и других деталях изготавливаются различными способами, к числу которых относятся: фрезерование, строгание (шлицестрогание), протягивание (шлицепротягивание), накатывание (шлиценакатывание), шлифование.

*Фрезерование шлицев на валах* небольших диаметров (до 100 мм) обычно производится за один рабочий ход, больших диаметров — за два рабочих хода. Черновое фрезерование шлицев, в особенности больших диаметров, иногда производится фрезами на горизонтально-фрезерных станках, имеющих делительные механизмы.

Фрезеровать шлицы можно способом, изображенным на рис. 3.33, б, позволяющим применять более дешевые фрезы, чем фреза, изображенная на рис. 3.33, а.

Более производительным способом является одновременное фрезерование двух шлицевых канавок двумя дисковыми фрезами специального профиля (рис. 3.33, в).

Чистовое фрезерование шлицев дисковыми фрезами производится только в случае отсутствия специального станка или



инструмента, так как оно не дает достаточной точности по шагу и ширине шлицев.

Более точное фрезерование шлицев производится методом обкатки при помощи шлицевой червячной фрезы (рис. 3.33, г). Фреза помимо вращательного движения имеет продольное перемещение вдоль оси нарезаемого вала. Этот способ является наиболее точным и наиболее производительным.

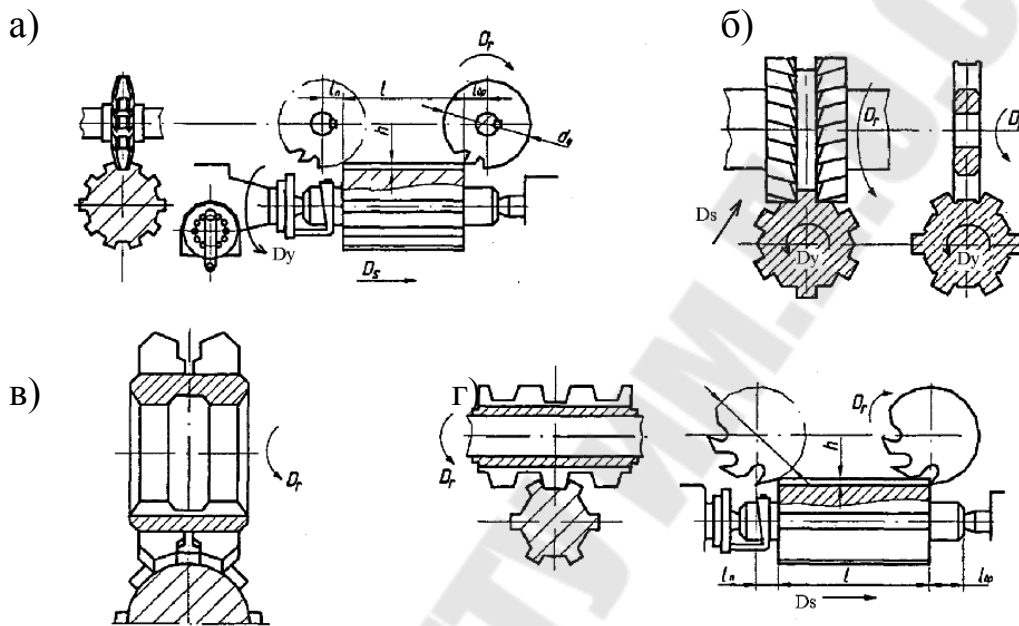


Рис. 3.33 – Способы фрезерования шлицев

При центрировании втулки (или зубчатого колеса) по внутреннему диаметру шлицев вала как червячная, так и дисковая фреза должна иметь «усики», вырезающие канавки у основания шлица, чтобы не было заедания во внутренних углах; эти канавки необходимы также при шлифовании по боковым сторонам и внутреннему диаметру.

*Шлицестрогание* реализуется, как правило, на специальных станках полуавтоматах, которые могут работать как отдельно, так и будучи встроенные в автоматическую линию. Этим методом чаще всего обрабатываются сквозные шлицы или шлицы, у которых предусмотрен выход для резцов.

Все шлицы нарезаются одновременно. При этом обработка ведется набором фасонных резцов, установленных с возможностью перемещаться в радиальном направлении. Число резцов равно числу пазов нарезаемого вала. Обрабатываемая заготовка расположена

вертикально и ей сообщается возвратно-поступательное перемещение вдоль оси. Перед каждым перемещением заготовки вверх резцы перемещаются по направлению к оси заготовки на величину поперечной подачи. Рабочим движением является перемещение заготовки вверх. При ее перемещении вниз резцы отводятся от обрабатываемой поверхности, чтобы избежать трения о заготовку. Этот процесс высокопроизводителен и используется в крупносерийном и массовом производстве.

Шлицестрогание обеспечивает шероховатость поверхности  $Ra=3,2...0,8\text{мкм}$ .

*Шлицепротягивание сквозных шлицев* производится цепными протяжками, профиль которых соответствует профилю шлицевого паза. Каждый паз протягивается отдельно, а для обработки всех пазов используется делительное устройство.

Для обработки несквозных шлицев используются блочные протяжки с независимой установкой и перемещением резцов в радиальном направлении (рис. 3.34, а).

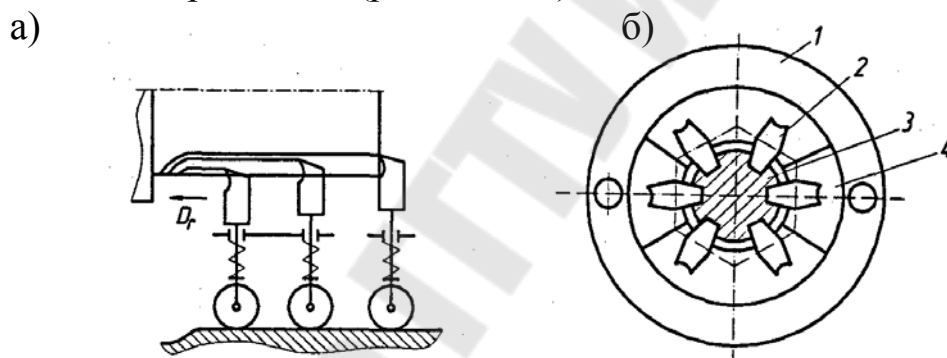


Рис. 3.34 – Схема шлицепротягивания (а) и накатной головки для шлиценакатного станка (б) (1 – корпус; 2 – накатной ролик; 3 – обрабатываемая деталь; 4 - сегмент)

Возможна также обработка шлицев с использованием так называемых охватывающих протяжек. Однако из-за сложности инструмента этот процесс применяется сравнительно редко.

Шлицепротягивание обеспечивает шероховатость поверхности  $Ra=1,6—0,8\text{мкм}$ .

*Шлиценакатывание без нагрева детали* осуществляется роликами, имеющими профиль, соответствующий форме поперечного сечения шлицев. Вращающиеся на осях ролики (диаметром 100 мм)

по одному на каждый шлиц расположен радиально в сегментах массивного корпуса накатной головки (рис. 3.34, б).

При передвижении головки по детали свободно вращающиеся ролики, вдавливаясь в поверхность вала, образуют на ней шлицы соответствующей профилю ролика формы. Все шлицы накатываются одновременно, без вращения детали.

На специальных станках для накатывания шлицев накатная головка размещается на салазках, для которых направляющими служат валы, соединяющие две массивные стойки. Салазки перемещаются приводом от гидроцилиндра, расположенного в задней стойке. В передней стойке находится гидравлический зажимной патрон, в котором закрепляется обрабатываемая заготовка. Каждый ролик независимо регулируется на требуемую высоту. Головка как самостоятельный узел снимается со станка, не нарушая расположения роликов. На смену роликов затрачивается 5—10 мин, на наладку станка — около 30 мин.

На таких станках наибольшее число накатываемых шлицев доходит до 18, наименьшее составляет 8... 10 (на валах диаметром 16 мм). Продольная подача — до 15 мм/с. Получаемая точность шлицев по шагу — 0,04 мм, непрямолинейность не превышает — 0,04 мм на 100 мм длины.

Процесс накатывания весьма производителен, так как все шлицы накатываются одновременно, при малой затрате времени, с достаточно высокой точностью.

*Шлифование шлицев* осуществляется в следующих случаях.

При центрировании шлицевых валов по наружному диаметру шлифуют только наружную цилиндрическую поверхность вала на обычных круглошлифовальных станках; шлифование впадины (т. е. по внутреннему диаметру шлицев вала) и боковых сторон шлицев не применяется.

При центрировании шлицевых валов по внутреннему диаметру шлицев фрезерование последних дает точность обработки по внутреннему диаметру до 0,05...0,06 мм, что не всегда является достаточным для точной посадки.

Если шлицевые валы после черного фрезерования прошли термическую обработку в виде улучшения или закалки, то после этого они не могут быть профрезерованы начисто; их необходимо шлифовать по поверхностям впадины (т. е. по внутреннему диаметру) и боковым сторонам шлицев. Наиболее производителен способ

шлифования фасонным кругом (рис. 3.35, а), но при этом шлифовальный круг изнашивается неравномерно ввиду неодинаковой толщины снимаемого слоя у боковых сторон и впадины вала, поэтому требуется частая правка круга. Несмотря на это, данный способ широко распространен в машиностроении.

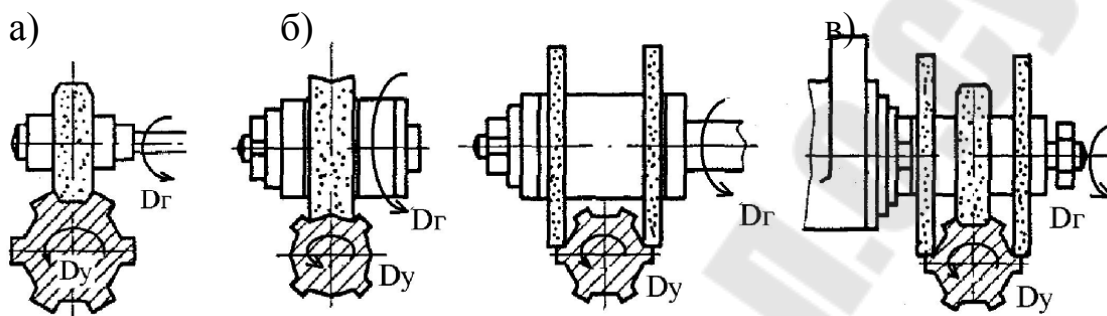


Рис. 3.35 – Схема шлифования шлицев на валах:  
а – фасонным кругом; б – в две операции одним и двумя кругами;  
в – тремя кругами

Шлифовать шлицы можно в две отдельные операции (рис. 3.35, б): в первой - шлифуют только впадины (по внутреннему диаметру), а во второй — боковые стороны шлицев. Для уменьшения износа шлифовального круга после каждого хода стола вал поворачивается, и, таким образом, шлифовальный круг обрабатывает впадины постепенно, одну за другой.

Обычно вал поворачивается автоматически после каждого двойного хода стола станка. Но такой способ шлифования менее производителен, чем первый. Для объединения двух операций шлифования в одну применяются станки, на которых шлицы шлифуются одновременно тремя кругами: один шлифует впадину, а два других — боковые поверхности шлицев (рис. 3.35, в).

#### Обработка на валах резьбовых поверхностей

В машиностроительном производстве применяют цилиндрические резьбы — крепежные и ходовые, а также конические резьбы.

Основной крепежной резьбой является метрическая резьба треугольного профиля с углом профиля  $60^\circ$ .

Применяются ходовые резьбы с прямоугольным и трапецеидальным профилем; последние бывают однозаходные и многозаходные.

Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали).

Наружную резьбу можно изготавливать различными инструментами: резцами, гребенками, плашками, самораскрывающимися резьбонарезными головками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом.

Для изготовления внутренней резьбы применяют резцы, метчики, раздвижные метчики, групповые фрезы, накатные ролики.

Тот или иной метод нарезания резьбы применяется в зависимости от профиля резьбы, характера и типа материала изделия, объема производственной программы и требуемой точности.

Основные способы формообразования резьбовых поверхностей с указанием границ степеней точности резьбы и параметров шероховатости приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Классификация основных способов формообразования резьбы

Основные способы формообразования резьбовых поверхностей																							
Обработка резанием										Обработка давлением													
лезвийным инструментом					абразивным инструментом					Плоскими плашками	Роликами	Бесстружечным метчиком	Накатными головками										
Резцами или гребенкой	Плашкой круглой	Резьбовой головкой	Фрезой	Метчиком	Шлифование однопрофильное	Шлифование многопрофильное	Бесцентровое шлифование	Ст. точн.	Ra					Ст. точн.	Ra	Ст. точн.	Ra						
6,4	6,3...0,8	8	12,5...6,3	6,4	6,3...1,6	6	6,3...1,6	6	6,3...3,2	6	1,6...0,8	4	0,8...0,2	4	0,8...0,2	6	0,8...0,4	6,4	0,8...0,2	6	3,2...0,8	6	1,6...0,8

Нарезание резьб осуществляется на резьбонарезных и резьбофрезерных станках и полуавтоматах, гайконарезных

автоматах, резьбонакатных, резьбошлифовальных, токарных и других станках.

*Нарезание резьбы резцами и резьбовыми гребенками.* Наружную и внутреннюю резьбы можно обработать на токарных станках. Это малопроизводительный процесс, так как обработка осуществляется за несколько рабочих ходов и требует высокой квалификации рабочего. Достоинством метода является универсальность оборудования, инструмента и возможность получить резьбу высокой точности. На токарных станках нарезают точные резьбы на ответственных деталях, а также нестандартные резьбы и резьбы большого диаметра. Для повышения точности резьбы осуществляют как черновые, так и чистовые рабочие ходы разными резцами. Различают два способа нарезания треугольной резьбы:

- 1) радиальное движение подачи;
- 2) движение подачи вдоль одной из сторон профиля.

Первый способ более точный, но менее производительный, поэтому рекомендуется черновые рабочие ходы делать вторым способом, а чистовой — первым (рис.3.36, а).

Для повышения производительности обработки резьбы применяют резьбовые гребенки — круглые и призматические. Обычно ширину гребенки принимают равной не менее чем шести шагам. При использовании гребенок снятие стружки выполняют несколько зубьев (рис. 3.36, б) и число рабочих ходов может быть уменьшено до одного.

Для скоростного нарезания резьбы применяют резцы, оснащенные твердым сплавом, а также наборы резцов (рис. 3.36, в).

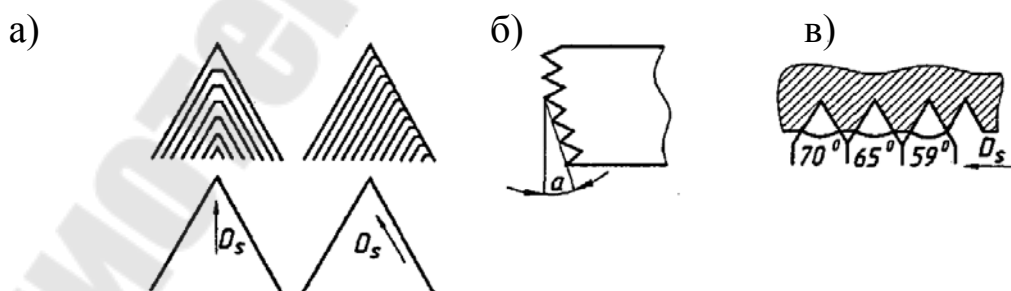


Рис. 3.36 – Схемы нарезания резьбы:

- а – с радиальной подачей и с подачей вдоль одной из сторон;  
б – расположение зубьев резьбовой гребенки; в- набором резцов

Токарные станки применяются для нарезания резьбы преимущественно для:

- нарезания резьбы на поверхностях, предварительно обработанных на токарном станке, благодаря чему обеспечивается правильное положение резьбы относительно других поверхностей;

- нарезания очень точных длинных винтов (в этом случае токарный станок, работающий одним резцом, имеет преимущество перед всеми другими методами, в том числе и перед фрезерованием) при выполнении работ, подходящих для резьбофрезерного станка, когда его нет или объем партии мал;

- нарезания резьб большого диаметра, нестандартного профиля или шага, а также вообще во всех случаях, когда приобретение подходящих плашек и метчиков не оправдывается объемом производства;

- нарезания прямоугольных резьб, чистовое фрезерование которых невозможно, а применение плашек и метчиков хотя и возможно, но затруднительно, особенно при обработке крупных заготовок.

К недостаткам нарезания резьбы на токарных станках относятся низкая производительность, уступающая другим методам нарезания резьбы, а также зависимость точности обработки среднего диаметра от квалификации рабочего.

Применение гребенок позволяет несколько повысить точность, но и в этом случае она обычно получается ниже, чем при нарезании плашками и метчиками.

Резьбу после нарезания резцом иногда калибруют точными плашками (часто вручную).

Таким образом, нарезание резьбы на токарном станке применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производствах, а в крупносерийном и массовом производствах — главным образом, для нарезания длинных или точных резьб.

В крупносерийном и массовом производствах используется *нарезание резьбы вращающимися резцами*, так называемым вихревым методом (рис. 3.37, а). При этом заготовка закрепляется в центрах токарно-винторезного станка или в патроне. В процессе работы она медленно вращается. В специальной головке, установленной на суппорте станка, закрепляется резец. Головка, вращающаяся с большой скоростью от специального привода, расположена эксцентрично относительно оси нарезаемой резьбы. Таким образом,

при вращении головки, резец, закрепленный в ней, описывает окружность, диаметр которой больше наружного диаметра резьбы.

В некоторых конструкциях головок закрепляют четыре резца: два резца прорезают канавку, третий формирует профиль резьбы, четвертый зачищает заусенцы.

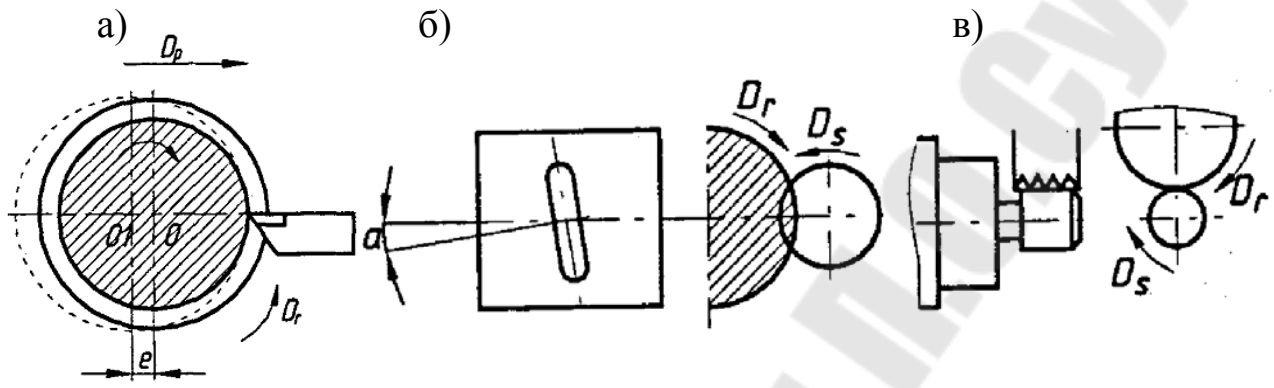


Рис. 3.37 – Схемы вихревого резьбонарезания (а) и фрезерования резьбы (б – дисковой фрезой, в – групповой (гребенчатой) фрезой)

*Нарезание резьбы метчиками, плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками* производится на различных станках. Внутренние резьбы нарезают обычно машинными метчиками резьбонарезных, сверлильных, револьверных, а также на агрегатных станках, полуавтоматах и автоматах в зависимости от масштаба производства. Станки должны иметь быстродействующий реверс шпинделей для быстрого изменения направления рабочего движения на обратное, когда резьба нарезана.

В массовом и крупносерийном производстве получили широкое распространение метчики сборной конструкции (резьбонарезные головки), которые могут нарезать резьбу без реверсирования.

Наружные резьбы невысокой точности (7...8 степеней точности) нарезают обычными круглыми плашками. Плашками с доведенными режущими кромками можно калибровать резьбы пятой степени точности.

Основной недостаток всех типов плашек — это необходимость свинчивания их по окончании резания, что снижает производительность и несколько ухудшает качество резьбы.

Плашками нарезают резьбу как вручную, так и на различных станках токарной, сверлильной, резьбонарезной групп. Нарезание плашками — малопродуктивный процесс.



Нарезание наружной резьбы резьбонарезными самооткрывающимися головками значительно точнее, производительнее и отличается большей точностью, чем ранее рассмотренные методы; оно находит широкое применение в серийном и массовом производстве.

Вращающиеся головки используют на токарных автоматах и полуавтоматах.

*Фрезерование резьбы* широко распространено в серийном и массовом производствах и применяется для нарезания наружных и внутренних резьб на резьбофрезерных станках. Оно осуществляется двумя основными способами: дисковой фрезой (рис. 3.37, б) и групповой (гребенчатой) фрезой (рис. 3.37, в).

Нарезание дисковой фрезой применяют при нарезании резьб с большим шагом и круглым профилем и главным образом для предварительного нарезания трапецеидальных резьб за один, два или три рабочих хода. При нарезании фреза вращается и совершает поступательное движение вдоль оси заготовки, причем перемещение за один оборот заготовки должно точно соответствовать шагу резьбы.

Гребенчатая резьбовая фреза представляет собой набор нескольких дисковых резьбовых фрез. Полное нарезание происходит за 1,2 оборота заготовки (0,2 оборота необходимы для полного врезания и перекрытия места врезания).

Фрезерование дисковой фрезой часто применяют как черновую обработку перед нарезанием резьбы резцом.

Фрезерование гребенчатой фрезой — применяется для получения коротких резьб с мелким шагом. Длина фрезы обычно принимается на 2... 5 мм больше длины фрезеруемой детали. Групповая фреза устанавливается параллельно оси детали, а не под углом, как дисковая фреза. Нарезание резьбы с большим углом подъема гребенчатой фрезой затруднительно.

Фрезерование резьбы является одним из наиболее производительных методов обработки резьбы.

*Шлифование резьб* выполняют чаще всего после термической обработки заготовок. Резьбошлифование может быть наружным и внутренним, осуществляется на различных резьбошлифовальных станках. Существуют следующие способы шлифования резьбы: однопрофильным кругом; многопрофильным кругом с продольным движением подачи; врезное; широким многопрофильным кругом.

Шлифование однопрофильным кругом является универсальным и точным методом. Его применяют для изготовления метчиков, резьбовых пробок, резьбовых колец и т. п.

Многопрофильные круги, шлифующие резьбу с продольным движением подачи, имеют заходную конусную часть. В обработке участвуют все нитки шлифовального круга, что является преимуществом перед врезным шлифованием, так как увеличивает производительность.

В массовом производстве успешно применяют высокопроизводительный метод шлифования резьбы — бесцентровое шлифование.

*Резьбонакатывание (выдавливание)* осуществляется последовательным или одновременным копированием путем пластического деформирования профиля накатного резьбового инструмента на заданном участке заготовки.

Накатывание наружной резьбы можно осуществлять на резьбонакатных и специальных автоматических двумя способами: плоскими плашками (рис.3.38, а) и накатными роликами (рис.3.38, б, в).

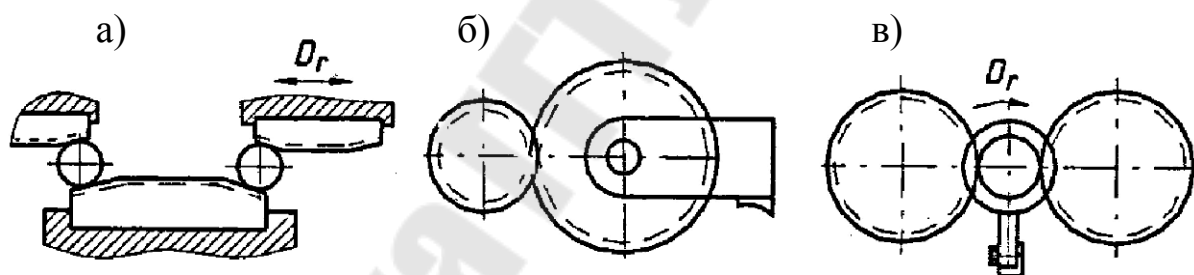


Рис. 3.38 – Схемы накатывания резьбы:

а – плоскими плашками; б – одним роликом; в – двумя роликами;

На практике широко распространено накатывание резьбы роликами с радиальным продольным и тангенциальным движениями подачи. Наибольшее распространение получил способ накатывания резьбы двумя роликами (рис.3.38, в).

Накатыванием можно получить резьбы диаметром 0,3 ... 150 мм на деталях из сталей твердостью НВ120...340, а также из цветных металлов и сплавов.

### 3.4. Технология изготовления втулок

#### 3.4.1. Общие сведения

К деталям класса втулок относятся втулки, гильзы, стаканы, вкладыши, т. е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось.

Отличительной технологической задачей является обеспечение концентричности наружных поверхностей с отверстием и перпендикулярности торцов к оси отверстия.

Технологическими задачами являются:

- точность размеров. Диаметры наружных поверхностей выполняют по h6, h7; отверстия по H7, реже по H8, для ответственных сопряжений по H6.

- точность формы. В большинстве случаев особые требования к точности формы поверхностей не предъявляются, т. е. погрешность формы не должна превышать определенной части поля допуска на размер.

- точность взаимного расположения:

- концентричность наружных поверхностей относительно внутренних поверхностей 0,015...0,075 мм;
- разностенность не более 0,03—0,15 мм;
- перпендикулярность торцовых поверхностей к оси отверстия 0,2 мм на радиусе 100 мм, при осевой загрузке на торцы отклонение от перпендикулярности не должно превышать 0,02...0,03 мм.

- качество поверхностного слоя. Шероховатость внутренних и наружных поверхностей вращения соответствует Ra = 1,6...3,2 мкм, торцов Ra = 1,6...6,3 мкм, а при осевой нагрузке Ra = 1,6...3,2 мкм. Для увеличения срока службы твердость исполнительных поверхностей втулок выполняется HRC, 40...60.

Например, для втулки, представленной на рис. 3.39:

- точность размеров основных поверхностей в пределах IT7;
- точность формы для отверстия  $\varnothing 85$  задана допуском крутости и допуском профиля продольного сечения (0,008 мкм), а для остальных поверхностей погрешности формы должны находиться в пределах части допуска и допуска на размер;
- точность взаимного расположения задается величиной радиального биения отверстия (не более 0,025 мм) и торцового биения упорного торца втулки (не более 0,016 мм) относительно оси

наружной ной цилиндрической поверхности  $\varnothing 125$  и позиционными допусками расположения осей крепежных отверстий (0,12 мм);

- шероховатость ответственных цилиндрических поверхностей: наружных  $Ra = 1,6$  мкм, внутренних  $Ra = 1,6$  мкм.

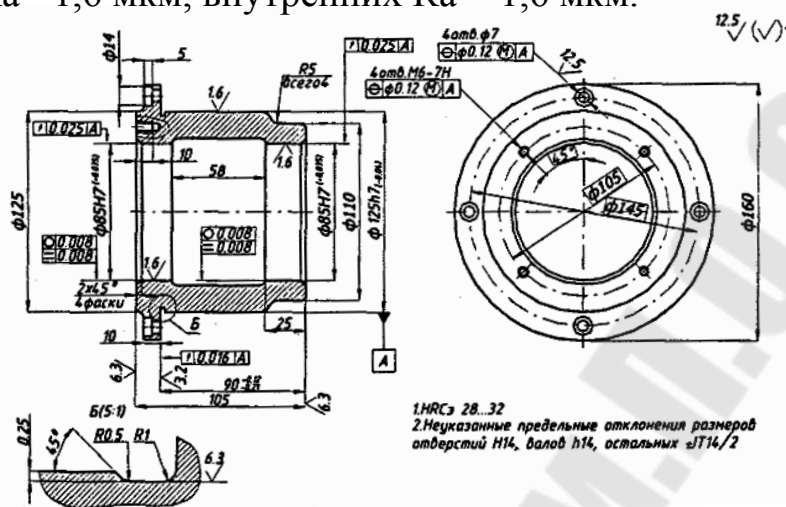


Рис. 3.39 – Чертеж втулки

В качестве материалов для втулок служат сталь, латунь, бронза, серый и ковкий антифрикционный чугун, специальные сплавы, металлокерамика, пластмассы.

Заготовками для втулок с диаметром отверстия до 20 мм служат калиброванные или горячекатаные прутки, а также литые стержни. При диаметре отверстия больше 20 мм применяются цельнотянутые трубы или полые заготовки, отлитые в песчаные или металлические формы, используют также центробежное литье и литье под давлением.

При выборе метода базирования следует отдавать предпочтение базированию по отверстию, которое имеет ряд преимуществ:

- при обработке на жесткой или разжимной оправке погрешность установки отсутствует или значительно меньше, чем при обработке в патроне с креплением заготовки по наружной поверхности;
- более простое, точное и дешевое центрирующее устройство, чем патрон;
- при использовании оправки может быть достигнута высокая степень концентрации обработки.

Обработка отверстий в деталях различных типов производится путем сверления, зенкерования, фрезерования на станках с ЧПУ,

растачивания резцами, развертывания, шлифования (внутреннего), протягивания, хонингования, раскатывания шариками и роликами, продавливания, притирки, полирования, суперфиниширования (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Основные методы и виды обработки отверстий

Обработка лезвийным инструментом										Обработка абразивным инструментом				Обработка давлением							
Сверление и рассверливание		Зенкерование			Развертывание			Растачивание			Протягивание		Шлифование			Отделочные методы		На металлорежущем оборудовании			
		Черновое	Однократное	Чистое	Нормальное	Точное	Тонкое	Черновое	Чистовое	Тонкое	Черновое	Чистовое	Предварительное	Чистовое	Тонкое	Притирка	Хонингование	Раскатывание	Колибрование	Выглаживание	
IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra
13...9																					
25...1,6																					
13...12																					
25...6,3																					
13...11																					
25...6,3																					
10...8																					
6,3...0,8																					
11...10																					
12,5...0,8																					
9...7																					
6,3...0,4																					
6...5																					
3,2...0,1																					
13...11																					
25...1,6																					
10...8																					
6,3...0,4																					
7...5																					
3,2...0,2																					
11...10																					
12,5...0,8																					
9...6																					
6,3...0,2																					
9...8																					
6,3...0,4																					
7...6																					
3,2...0,3																					
6...5																					
1,6...0,1																					
5...4																					
1,6...0,1																					
6...5																					
1,6...0,1																					
10...8																					
6,3...0,4																					
8...6																					
6,3...0,1																					
6...5																					
0,4...0,1																					

Обработка отверстий со снятием стружки производится лезвийным и абразивным инструментом.

### 3.4.2. Обработка отверстий лезвийным инструментом

К лезвийным инструментам относятся сверла, зенкеры, развертки, расточные резцы и протяжки. Обработку отверстий лезвийным инструментом производят на станках следующих групп: сверлильной (вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные) (рис. 3.40, а, б); расточной (горизонтально-расточные, горизонтальные и вертикальные отделочно-расточные, координатно-расточные); протяжной группы (горизонтальные и вертикальные полуавтоматы) как обычного исполнения, так и с ЧПУ.

Кроме того, отверстия обрабатываются практически на всех станках, полуавтоматах и автоматах токарной группы.

Сверлением получают отверстия в сплошном материале. Для неглубоких отверстий используют стандартные сверла диаметром 0,30...80 мм.

Точность сверления и рассверливания соответствует IT13 – IT9 квалитетам, а шероховатость поверхности –  $R_a=25 - 1,6\text{мкм}$ .

Существуют два метода сверления: 1) вращается сверло (станки сверлильно-расточных групп); 2) вращается заготовка (станки токарной группы).

Обработку отверстий диаметром до 25...40 мм осуществляют спиральными сверлами за один переход (рис. 3.40, в), при обработке отверстий больших диаметров (до 80 мм) — за два и более перехода сверлением и рассверливанием или другими методами. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверла или сверлильные головки специальных конструкций.

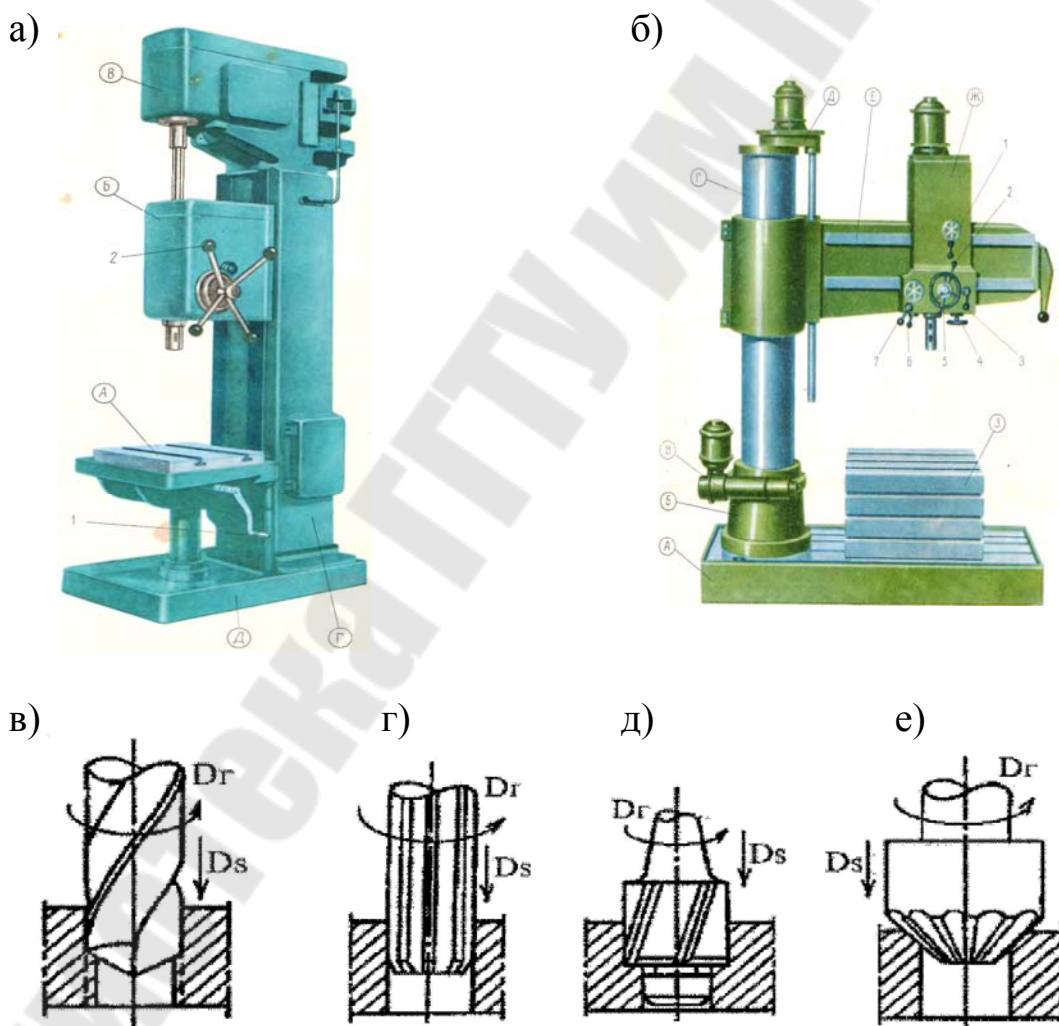


Рис. 3.40 – Общий вид вертикально сверлильного (а), радиально сверлильного (б) станков и схемы обработки отверстий (в - е)

*Зенкерование отверстий* — предварительная обработка литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее развертывание, растачивание или протягивание. При обработке отверстий по 13... 11-му качеству зенкерование может быть окончательной операцией.

Зенкерование является производительным методом: повышает точность предварительно обработанных отверстий, частично исправляет искривление оси после сверления. Для повышения точности обработки используют приспособления с кондукторными втулками. Зенкерованием обрабатывают сквозные и глухие отверстия.

Зенкеры исправляют, но не устраняют полностью искривления оси отверстия. Достижимая шероховатость  $R_a = 12,5...6,3$  мкм.

*Развертывание отверстий* (рис. 3.40, г) — чистовая обработка отверстий с точностью до 7-го качества. Развертыванием обрабатывают отверстия тех же диаметров, что и при зенкерании. Развертки рассчитаны на снятие малого припуска. Они отличаются от зенкеров большим числом (6... 14) зубьев. Для получения отверстий 7-го качества применяют двукратное развертывание; IT6 — трехкратное, под окончательное развертывание припуск оставляют 0,05 мм и менее.

Цилиндрические углубления и торцевые поверхности под головки болтов и гаек выполняются на сверлильных станках цековками в виде насадных головок с четырьмя зубьями (рис. 3.40, д), фаски в отверстиях обрабатываются зенковками (рис. 3.40, е).

*Растачивание основных отверстий*, определяющих конструкцию детали, производится на горизонтально-расточных, координатно-расточных, радиально-сверлильных, карусельных и агрегатных станках, многоцелевых обрабатывающих центрах, а также в некоторых случаях и на токарных станках.

Точность обрабатываемого отверстия соответствует IT11 – IT5 качествам, а шероховатость поверхности –  $R_a=25 - 0,2$  мкм.

Существуют два основных способа растачивания: растачивание, при котором вращается заготовка (на станках токарной группы), и растачивание, при котором вращается инструмент (на станках расточной группы).

Типичными для токарных станков операциями являются растачивание одиночного отверстия и растачивание соосных отверстий универсальным методом — резцом (резцами) (рис. 3.41, б)

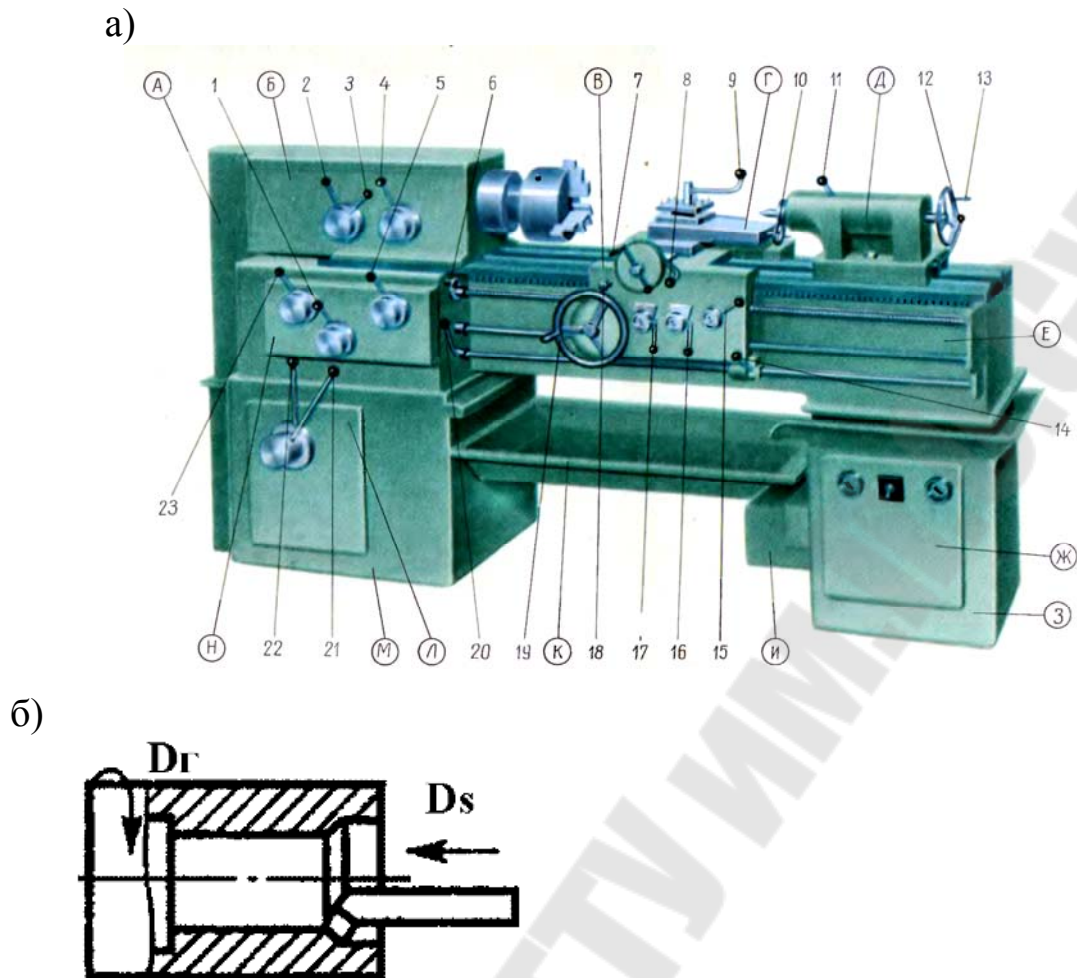


Рис. 3.41 – Общий вид токарного станка (а) и схема растачивания отверстия (б)

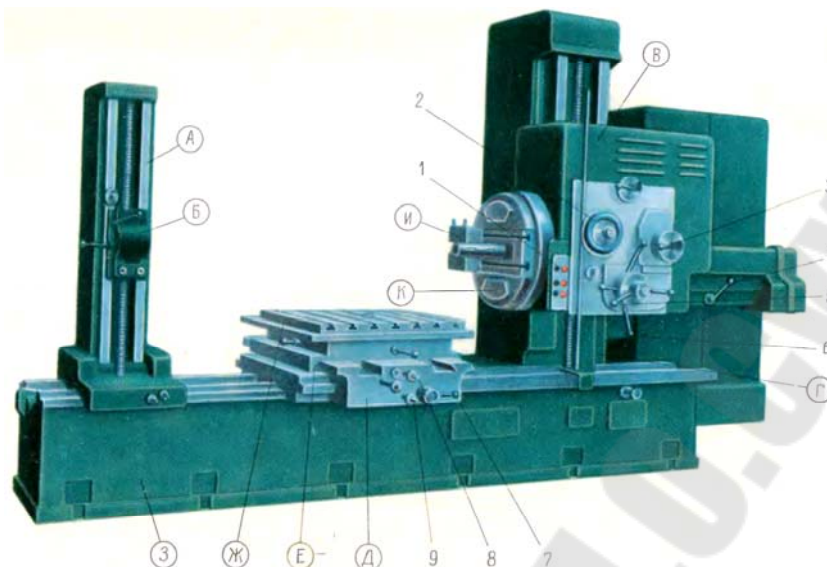
Существуют три основных способа расточки отверстий на горизонтально-расточных станках (рис. 3.42, а):

- 1) растачивание консольными оправками (рис. 3.42, б);
- 2) растачивание борштангами с использованием опоры задней стойки (рис. 3.42. в);
- 3) растачивание в кондукторах при шарнирном соединении расточных оправок со шпинделем станка (рис. 3.42, г).

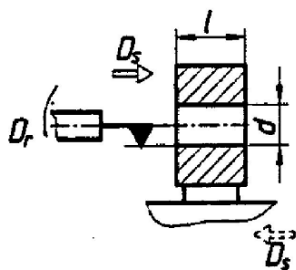
Подача в каждом их этих случаев может сообщаться шпинделю или столу.



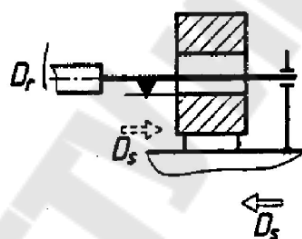
а)



б)



в)



г)

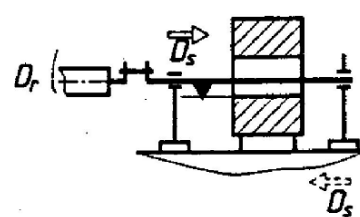


Рис. 3.42 – Общий вид горизонтально-расточного станка (а) и схемы растачивания отверстия (б - г)

При растачивании по первому варианту консольной оправкой (рис. 3.42, а), по сравнению с растачиванием борштангой облегчается установка инструмента, установка и выверка самой консольной оправки и измерение обработанной поверхности, что приводит к сокращению вспомогательного времени.

Растачивание консольными оправками производится при общем вылете инструмента  $L = (5 \dots 6)d$ .

Растачивание борштангами с использованием задней опоры стойки (рис. 3.42, б) применяется при изготовлении крупных тяжелых деталей, имеющих отверстия в противоположных стенках или при обработке отверстий, имеющих длину, значительно превышающую их диаметр. В этом случае опора задней стойки и шпиндель должны быть соосны. Выверка производится в вертикальной и

горизонтальной плоскостях, при этом значительно возрастает вспомогательное время.

Растачивание борштангой с передним и задним направлением (рис. 3.42, в) производится с помощью кондукторного приспособления, обеспечивающее двойное направление инструмента и полностью определяющее относительное положение инструмента и заготовки. Инструмент или оправка в этом случае соединяются со станком шарнирно. При этом не требуется точного относительного положения шпинделя и направляющих элементов приспособления, что приводит к сокращению времени на настройку. Приспособление упрощает выполнение операции, снижает требования к квалификации рабочих, повышает производительность труда, но требует значительных затрат. Геометрические погрешности станков в этом случае не оказывают влияния на точность обработки. При этом достигается высокая жесткость системы.

*Протягивание отверстий* широко применяют в массовом, крупносерийном и серийном производствах. Протягивание является одним из прогрессивных способов обработки металлов резанием как в отношении производительности, так и в отношении достигаемых точности и шероховатости. По сравнению с развертыванием, например, протягивание производительнее в 8...9 раз и выше. Точность обрабатываемого отверстия соответствует IT10 – IT6 квалитетам, а шероховатость поверхности –  $R_a=6,3-0,2$  мкм.

Протягивание осуществляется многолезвийным инструментом протяжкой, которая протягивается через обрабатываемое отверстие (рис. 3.43, б, в). Внутренним протягиванием обрабатывают различные отверстия: круглые (цилиндрические), шлицевые, многогранные и др.

При протягивании на протяжных станках, заготовку устанавливают на жесткой (рис. 3.43, б) или шаровой опоре (рис. 3.43, в), если торец детали не перпендикулярен оси отверстия.

Для протягивания применяют горизонтальные (рис. 3.43, а) и вертикальные протяжные станки-полуавтоматы.

Горизонтальные протяжные полуавтоматы применяются для внутреннего протягивания. Вертикальные полуавтоматы используют как для внутреннего, так и наружного протягивания; они занимают в 2...3 раза меньшие площади, чем горизонтальные. На этих полуавтоматах более удобно устанавливать заготовку.

Производительность, точность и экономичность протягивания отверстий зависят от применяемой схемы резания.

Припуск под протягивание при обработке цилиндрических отверстий составляет 0,5...1,5 мм на диаметр отверстий.

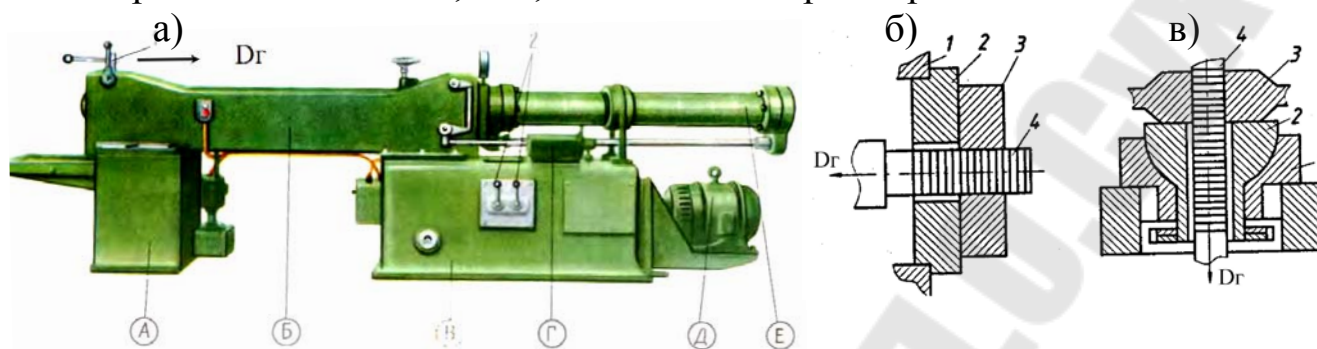


Рис. 3.43 – Общий вид горизонтального протяжного станка (а) и схемы протягивания отверстий (б, в)

### 3.4.3. Обработка отверстий абразивным инструментом

Для обработки отверстий применяют внутреннее шлифование, хонингование, притирку.

*Внутреннее шлифование* применяют для окончательной обработки отверстий закаленных деталей или в тех случаях, когда невозможно применить другие, более производительные методы обработки. Оно осуществляется на внутришлифовальных станках и бесцентрово-внутришлифовальных автоматах. Отверстия обрабатывают на проход и методом врезания (короткие отверстия). Наиболее распространенным методом является шлифование на проход с продольным движением подачи. Это шлифование обеспечивает точность размеров, формы и, при соответствующем базировании, - точность взаимного расположения обработанных поверхностей.

Внутреннее шлифование имеет свои технологические особенности. Диаметр абразивного круга выбирают наибольший, допустимым диаметром обрабатываемого отверстия ( $d_{кр} = (0,8...0,9)d_{отв}$ ). Высоту (ширину) круга принимают в зависимости от длины обрабатываемого отверстия ( $L_{кр}=0,8L_{дет}$ ).

Чистовым шлифованием обеспечивается точность размеров отверстий IT6...IT7, шероховатость поверхности  $Ra = 0,8...3,2$  мкм. При длительном выхаживании достигается  $Ra = 0,4$  мкм.

Различают три основных вида внутреннего шлифования:

- во вращающейся заготовке;
- в неподвижной заготовке (планетарное);
- бесцентровое.

Шлифование отверстия во вращающейся заготовке (рис. 3.44, б) осуществляется так же, как шлифование наружных поверхностей тел вращения. Наиболее распространенные схемы шлифования отверстий во вращающейся заготовке приведены на рис. 3.44, б - г.

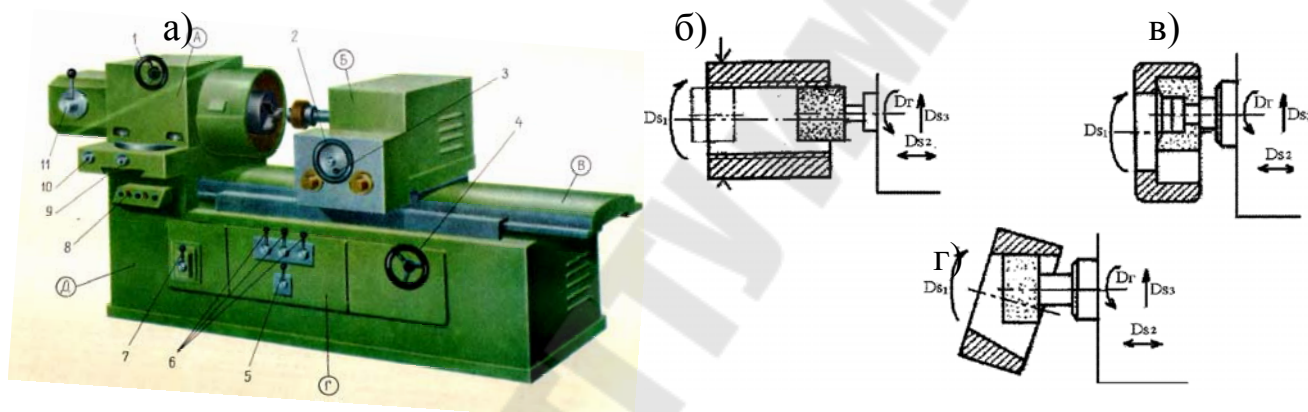


Рис. 3.44 – Общий вид внутришлифовального станка (а) и схемы шлифования отверстий (б - г)

Шлифование отверстия в неподвижной заготовке применяют при обработке отверстий в крупных заготовках, которые трудно вращать (см. рис. 3.45, б).

При этом методе заготовка устанавливается на стол станка и остается неподвижной во время обработки. Шпиндель и шлифовальный круг имеют четыре движения: 1 — вращение вокруг своей оси ( $D_{\Gamma}$ ); 2 — планетарное движение по окружности внутренней поверхности заготовки ( $D_{S1}$ ); 3 — возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки ( $D_{S2}$ ); 4 — поперечное перемещение (поперечное движение подачи). Этот метод менее производителен, чем первый.

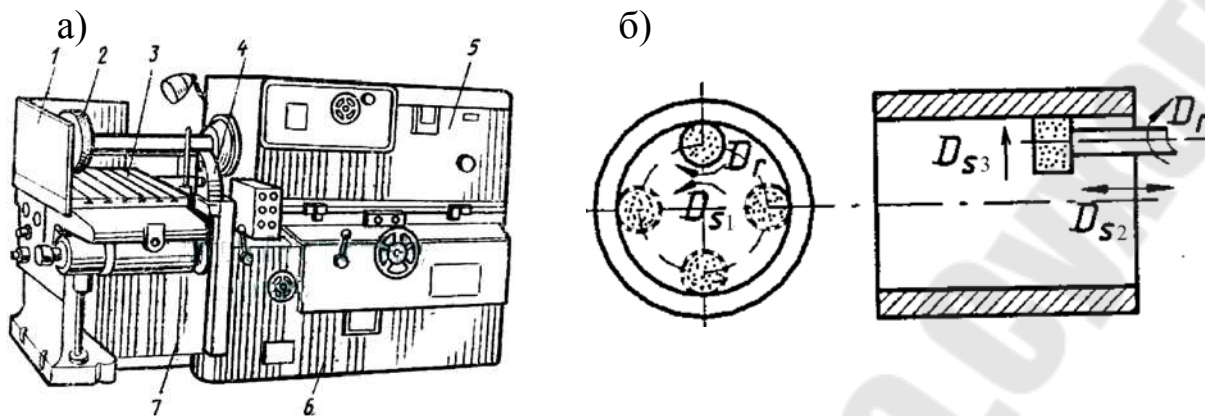


Рис. 3.45 – Общий вид внутришлифовального планетарного станка (а) и схема планетарного шлифования отверстия (б)

При внутреннем бесцентровом шлифовании (рис. 3.46, б) базой для установки заготовки служит наружная, предварительно обработанная поверхность. Обработка происходит следующим образом. Заготовка 2 направляется и поддерживается тремя роликами. Ролик 1 (большого диаметра) является ведущим; он вращает заготовку и в то же время удерживает ее от возможного вращения с большой скоростью под действием шлифовального круга 3. Верхний нажимной ролик 5 прижимает заготовку к ведущему ролику 1 и нижнему поддерживающему ролику 4. Заготовка, зажата между тремя роликами, вращается с той же скоростью, что и ведущий ролик 1. При смене заготовки ролик 5 отходит, освобождая заготовку и позволяя вставить, вручную или автоматически, новую заготовку.

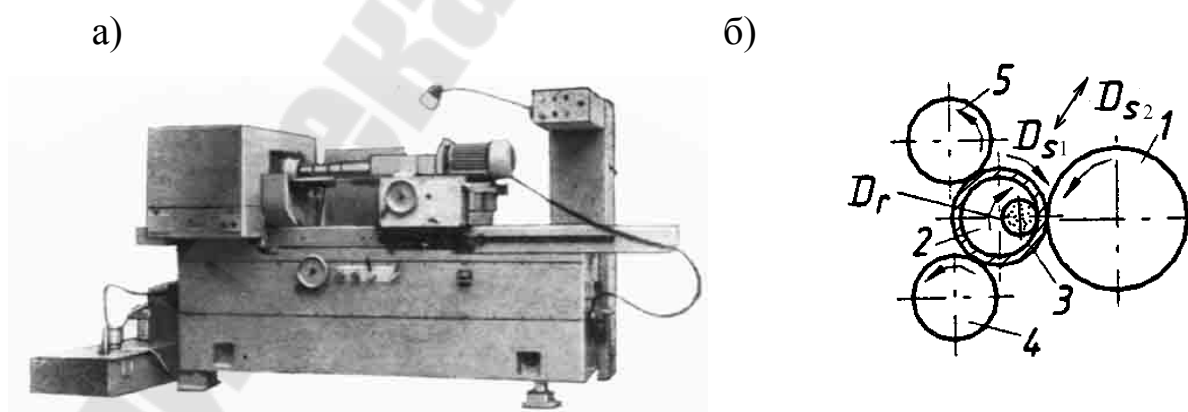


Рис.3.46– Общий вид бесцентрового внутришлифовального станка (а) и схема бесцентрового шлифования отверстия (б)

*Хонингование* является одним из методов отделочной обработки отверстий. Процесс осуществляется с помощью хонинговальных головок (хонов) со вставными абразивными брусками (рис. 3.47, б). Хонингование выполняется на специальных станках, которые подразделяют на две группы: вертикально-хонинговальные (рис. 3.47, а) и горизонтально-хонинговальные.

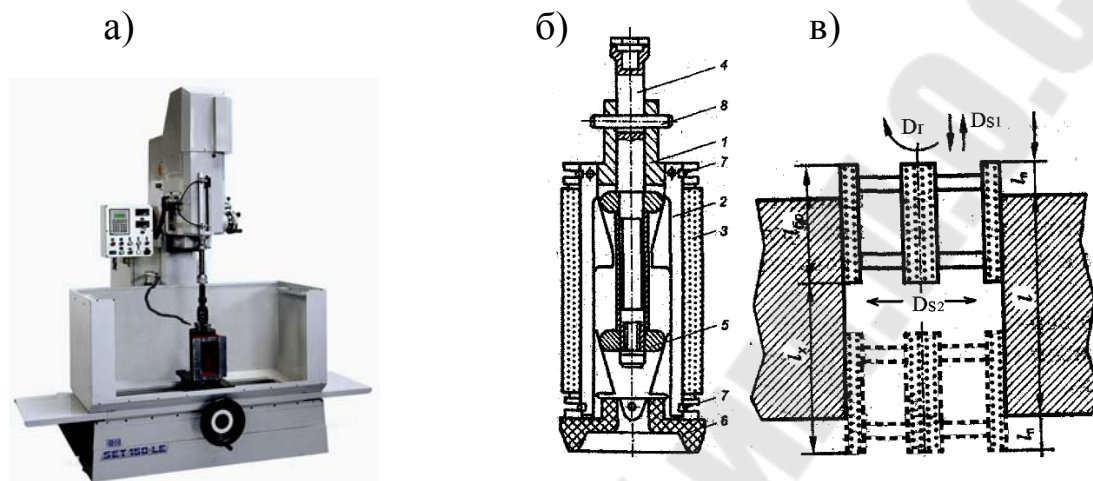


Рис. 3.47 – Общий вид вертикального хонинговального станка (а), схема хонинговальной головки (б) и схема хонингования (в) отверстия:

1 – корпус, 2 – колодки, 3 абразивные круги, 4 стержень, 5 – нажимная шайба, 6 – конус, 7 – круговые пружины

В процессе хонингования абразивные бруски удаляют слой металла толщиной  $0,3...0,5$  мкм за один двойной рабочий ход при общем припуске  $0,01...0,07$  мм для стали и  $0,02...0,20$  мм для чугуна (рис. 3.47, в). При этом снимаются как микронеровности, оставшиеся после предыдущей операции, так и некоторая часть основного металла, что позволяет устранять конусообразность, овальность, бочкообразность.

Предварительная обработка отверстий под хонингование может быть выполнена растачиванием, зенкерованием, развертыванием или шлифованием и должна обеспечивать точность обработки не ниже чем по 7...8-му качеству и  $Ra = 6,3...3,2$  мкм.

*Притирка* (доводка внутренних поверхностей). Этот метод аналогичен притирке наружных цилиндрических поверхностей. Притирка и хонингование, в отличие от внутреннего шлифования, не

исправляют погрешностей расположения, так как обрабатывающий инструмент базируется по обрабатываемой поверхности.

*Раскатывание отверстий* применяется для отделки ответственных отверстий большой длины в стальных корпусных деталях: корпусах поршневых, плунжерных, винтовых насосов, гидроцилиндрах и пр.

Твердость не должна быть выше  $HRC_{\text{э}36...42}$ .

При этом достижимы шероховатость  $Ra = 0,05...0,025$  мкм, и повышение твердости поверхностного слоя примерно на 20 %, повышение производительности по сравнению с хонингованием примерно в 5 раз. Раскатывание не исправляет положение оси и ее прямолинейность.

*Пробивка отверстий* используется для получения отверстий малых диаметров (до 3,5...5 мм) в плоских стальных деталях толщиной до 5 мм и деталях из цветных металлов толщиной до 10 мм, в крупносерийном производстве используют высокопроизводительный метод — пробивку в штампах.

С помощью дыропробивных штампов одновременно можно получить до 20 отверстий и более. Для получения большой точности отверстий с параллельными осями (по диаметру до 0,005 мм и по межцентровым расстояниям до 0,01 мм) после сверления или пробивки выполняют калибрование отверстий в штампах.

### 3.5. Технология изготовления корпусных деталей

#### 3.5.1. Общие сведения

К корпусам относят детали, содержащие систему отверстий и плоскостей, координированных друг относительно друга. К корпусам относят корпуса редукторов, коробок передач, насосов и т. д.

Корпусные детали служат для монтажа различных механизмов машин. Для них характерно наличие опорных достаточно протяженных и точных плоскостей, точных отверстий (основных), координированных между собой и относительно базовых поверхностей и второстепенных крепежных, смазочных и других отверстий.

По общности решения технологических задач корпусные детали делят на две основные группы:

а) призматические (коробчатого типа) с плоскими поверхностями больших размеров и основными отверстиями, оси которых расположены параллельно или под углом;

б) фланцевого типа с плоскостями, являющимися торцовыми поверхностями основных отверстий.

Основные технологические задачи:

1. Точность размеров:

- точность диаметров основных отверстий под подшипник по 7-му качеству с шероховатостью  $R_a = 1,6 \dots 0,4$  мкм, реже - по 6-му качеству  $R_a = 0,4 \dots 0,1$  мкм;

- точность межосевых расстояний отверстий для цилиндрических зубчатых передач с межцентровыми расстояниями 50...800 мм от  $\pm 25$  до  $\pm 280$  мкм;

- точность расстояний от осей отверстий до установочных плоскостей колеблется в широких пределах от 6-го до 11-го классов.

2. Точность формы:

- для отверстий, предназначенных для подшипников качения, допуск круглости и допуск профиля сечения не должны превышать (0,25...0,5) поля допуска на диаметр в зависимости от типа и точности подшипника;

- допуск прямолинейности поверхностей прилегания задается в пределах 0,05...0,20 мм на всей длине;

- допуск плоскостности поверхностей скольжения 0,05 мм на длине 1 м.

3. Точность взаимного расположения поверхностей:

- допуск соосности отверстий под подшипники в пределах половины поля допуска на диаметр меньшего отверстия;

- допуск параллельности осей отверстий в пределах 0,02...0,05 мм на 100 мм длины;

- допуск перпендикулярности торцовых поверхностей к осям отверстий в пределах 0,01...0,1 мм на 100 мм радиуса;

- у разъемных корпусов несовпадение осей отверстий с плоскостью разъема в пределах 0,05...0,3 мм в зависимости от диаметра отверстий.

4. Качество поверхностного слоя. Шероховатость поверхностей отверстий  $R_a = 1,6 - 0,4$  мкм (для 7-го класса);  $R_a = 0,4 - 0,1$  мкм



(для 6-го качества); поверхностей прилегания  $Ra = 6,3 \dots 0,63$  мкм, поверхностей скольжения  $Ra = 0,8 \dots 0,2$  мкм, торцовых поверхностей  $Ra = 6,3 \dots 1,6$  мкм.

Для рассматриваемой детали «кронштейн» (рис. 3.48):

- точность размеров поверхностей по IT6 — нет, поверхности по IT7 —  $\varnothing 47JS7$ , размер от оси отверстия  $\varnothing 47JS7$  до установочной плоскости A по IT10— $70h10$ ; все остальные размеры диаметральные и линейные по IT11...IT14;

- допуски круглости и профиля продольного сечения  $0,008$  мкм у отверстия  $\varnothing 47JS7$ ;

- точность взаимного расположения поверхностей:

а) допуск параллельности оси отверстия  $\varnothing 47JS7$  относительно установочной плоскости  $0,02$  мм;

б) допуск смещения от номинального расположения осей отверстий  $0,12$  мм;

в) допуск перпендикулярности торцовых плоскостей оси отверстия  $0,02$  мм;

- качество поверхностного слоя:

а) шероховатость поверхностей отверстия  $\varnothing 47JS7$   $Ra = 1,6$  мкм;

б) шероховатость торцовых поверхностей и установочной плоскости A  $Ra = 1,6$  мкм;

в) отливку подвергнуть старению.

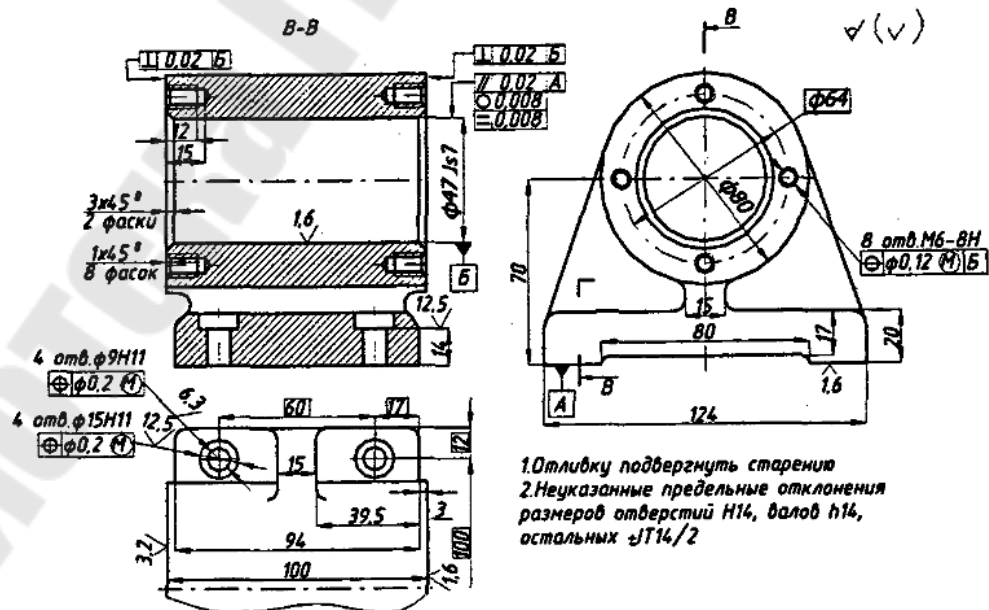


Рис. 3.48 – Чертеж кронштейна

В машиностроении для получения заготовок широко используют серый чугун, модифицированный и ковкий чугуны, углеродистые стали; в турбостроении и атомной технике — нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы; в авиастроении — силумины и магниевые сплавы; в приборостроении — пластмассы.

Чугунные и стальные заготовки отливают в земляные и стержневые формы. Для сложных корпусов с высокими требованиями по точности и шероховатости (корпуса центробежных насосов) рекомендуется литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям.

Заготовки из алюминиевых сплавов получают отливкой в кокиль и под давлением. Замена литых заготовок сварными производится для снижения веса и экономии материала, при этом толщина стенок корпуса может быть уменьшена на 30...40% по сравнению с литыми корпусами.

При базировании корпусных деталей стараются выдерживать принципы совмещения и постоянства базы.

Ниже приведены наиболее часто используемые схемы базирования (рис. 3.49).

При изготовлении корпусных деталей призматического типа широко используется базирование по плоской поверхности 1 и двум отверстиям 2, чаще всего обработанным по 7-му качеству (рис. 3.49, а).

Детали фланцевого типа базируются на торец фланца 1, отверстие 2 большего диаметра и отверстие 3 малого диаметра во фланце. Распределение опорных точек зависит от соотношения длины базирующей части отверстия к его диаметру (рис. 3.49, б, в).

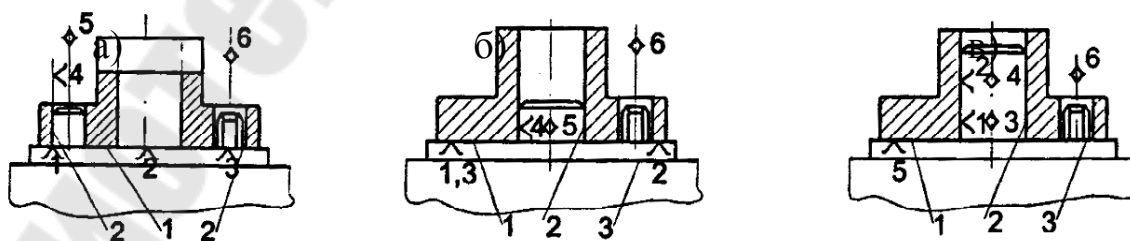


Рис. 3.49 – Базирование корпусной заготовки:

а – на плоскость и два отверстия; б – на плоскость, короткую выточку и отверстие; в – на плоскость, длинное отверстие и отверстие малого диаметра во фланце

Обработку плоских поверхностей можно производить различными методами на различных станках — строгальных, долбежных, фрезерных, протяжных, токарных, расточных, многоцелевых, шабровочных и др. (лезвийным инструментом); шлифовальных, полировальных, доводочных (абразивным инструментом).

Наиболее широкое применение находят строгание, фрезерование, протягивание и шлифование.

Методы обработки, достигаемая ими точность и шероховатость поверхности, представлены в табл. 3.4

Таблица 3.4 – Основные методы и виды обработки плоских поверхностей

Обработка лезвийным инструментом										Обработка абразивным инструментом																					
Строгание и долбление			Фрезерование				Протягивание		Шабрение		Шлифование				Доводка																
Черновое	Чистовое		Черновое	Получистовое	Чистовое		Тонкое	Черновое	Чистовое	Ручное	Механическое		Черновое	Чистовое	Тонкое	Предварительное	Окончательная														
IT	Ra	IT	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra	IT	Ra													
13...11	12,5...3,2	13...11	1,6...0,8	10...9	1,6...0,2	13...11	12,5...3,2	12...10	3,2...1,6	10...8	1,6...0,8	8...6	1,6...0,2	11...10	3,2...1,6	9...6	1,6...0,4	7...6	0,63...0,08	8...7	0,8...0,1	9...8	1,6...0,4	8...7	0,4...0,1	7...6	0,2...0,05	3...4	0,63...0,16	5...3	0,32...0,04

На рис. 3.50 представлены области применения наиболее распространенных методов обработки поверхностей.

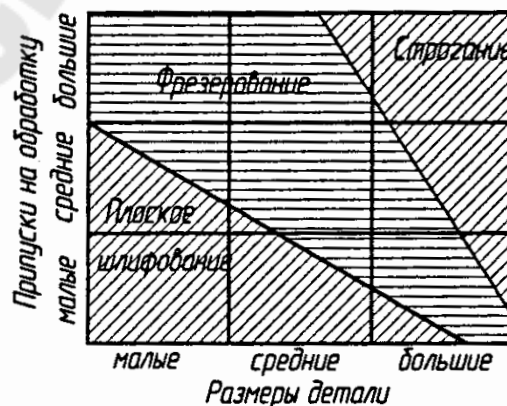


Рис. 3.50 – Области применения различных методов обработки плоских поверхностей.

### 3.5.2. Обработка плоских поверхностей лезвийным инструментом

*Строгание* находит большое применение в мелкосерийном и единичном производстве благодаря тому, что для работы на строгальных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов, как для работы на фрезерных, протяжных и других станках.

Этот метод обработки является весьма гибким при переходе на другие условия работы. Однако он малопроизводителен: обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Кроме того, для работы на этих станках требуются рабочие высокой квалификации.

Строгание и долбление применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

При строгании применяют поперечно-строгальные, а также одно и двухстоечные продольно-строгальные станки (рис. 3.51, а). Строгание на продольно-строгальных станках применяют в серийном производстве и при обработке крупных и тяжелых деталей практически во всех случаях. Объясняется это простотой и дешевизной инструмента и наладки; возможностью обрабатывать поверхности сложного профиля простым универсальным инструментом, малой его чувствительностью к литейным порокам, возможностью снимать за один рабочий ход большие припуски до 20 мм и сравнительно высокую точность (рис. 3.51, б).

При тонком строгании может быть достигнута шероховатость  $Ra=(1,6...0,8)$  мкм и неплоскостность 0,01 мм для поверхности 300х300 мм.

Для увеличения производительности процесса строгания заготовки устанавливают в один или несколько рядов; обрабатывают одновременно заготовки деталей различных наименований.

Наиболее рационально применять строгание длинных и узких по-верхностей. При обычной форме резца строгание производится с глубиной резания от 3 до 10 мм и подачей 0,8...1,2 мм на один двойнойход стола, обеспечивая IT3...IT11;  $Ra = 3,2... 12,5$  мкм.

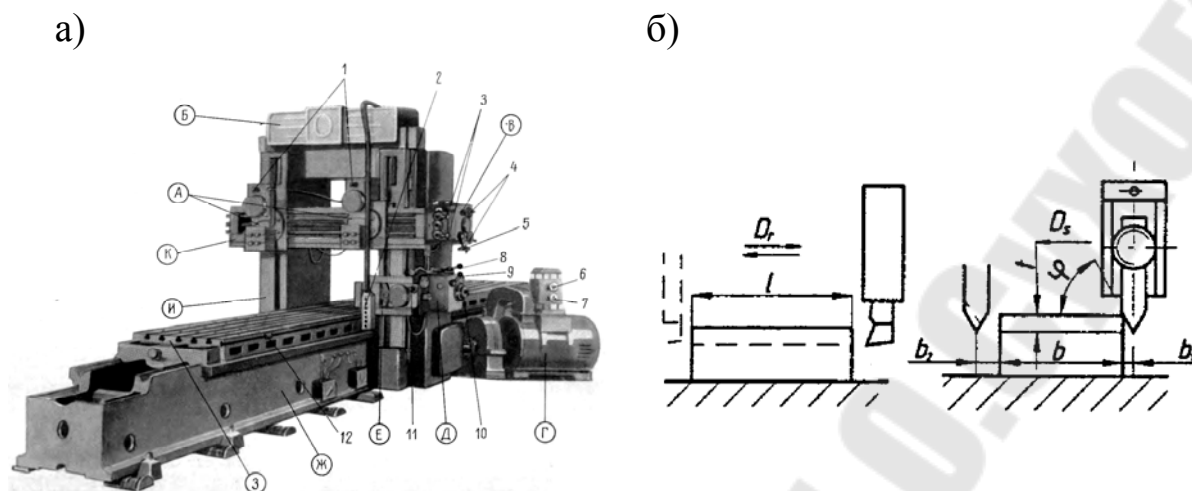


Рис. 3.51 – Общий вид продольно-строгального станка (а) и схема строгания плоскости (б)

*Фрезерование* в настоящее время является наиболее распространенным методом обработки плоских поверхностей. В массовом производстве фрезерование вытеснило применявшееся ранее строгание.

Фрезерование осуществляется на фрезерных станках. Фрезерные станки разделяются на горизонтально-фрезерные (рис. 3.52, а), вертикально-фрезерные (рис. 3.52, б), универсально-фрезерные, продольно-фрезерные, карусельно-фрезерные (рис. 3.52, в), барабанно-фрезерные и многоцелевые.

Существуют следующие виды фрезерования: цилиндрическое (рис. 3.52, г), торцовое (рис. 3.52, д), двустороннее (рис. 3.52, е), трехстороннее (рис. 3.52, ж).

Фрезерование характеризуется высокой производительностью и сравнительно высокой точностью. Фрезерование в два перехода (черновой и чистовой) позволяет достичь: по точности размеров IT9; по шероховатости  $Ra = 6,3...0,8$  мкм; отклонение от плоскостности 40...60 мкм.

*Протягивание* плоскостей реализуют на вертикально- и горизонтально-протяжных станках. Протягивание наружных плоских поверхностей благодаря высокой производительности и низкой себестоимости находит все больше применение в крупносерийном и массовом производстве. Для этих типов производств протягивание экономически выгодно, несмотря на высокую стоимость оборудования и инструмента. В настоящее время фрезерование часто

заменяют наружным протягиванием (плоскости, пазы, канавки и т. п.).

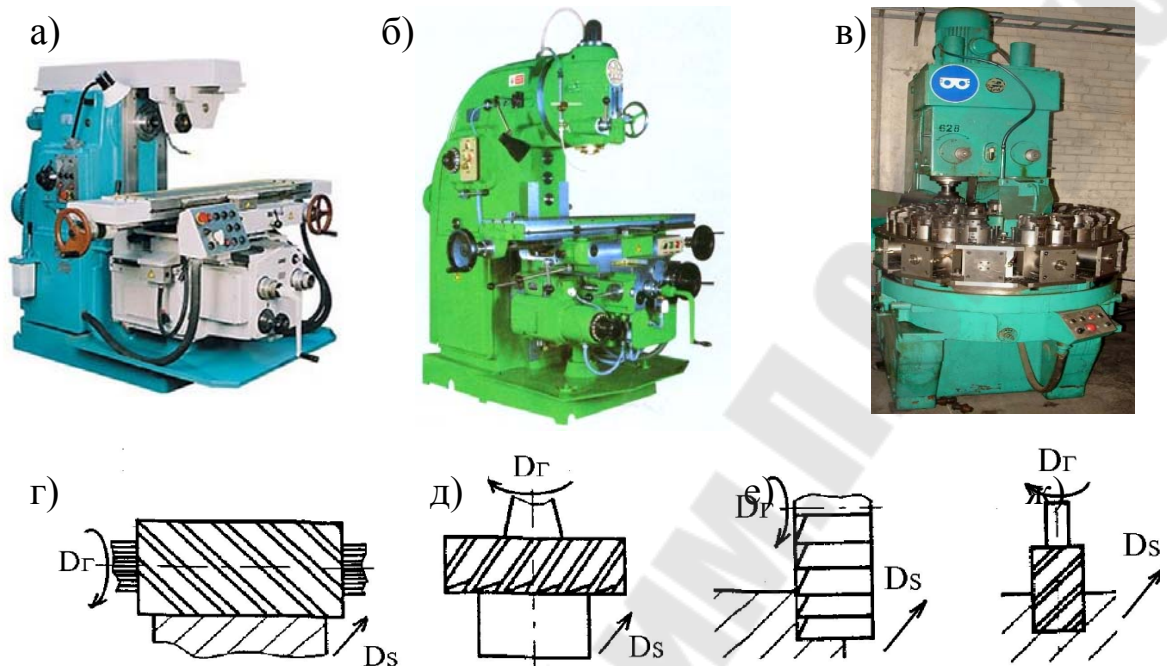


Рис 3.52 – Общие виды фрезерных станков (а - в) и схемы фрезерования плоскости (г - ж)

В массовом производстве для наружного протягивания применяют высокопроизводительные многопозиционные протяжные станки, а также станки непрерывного действия. Схема обработки плоских поверхностей на протяжном станке непрерывного действия представлена на рис. 3.53, б.

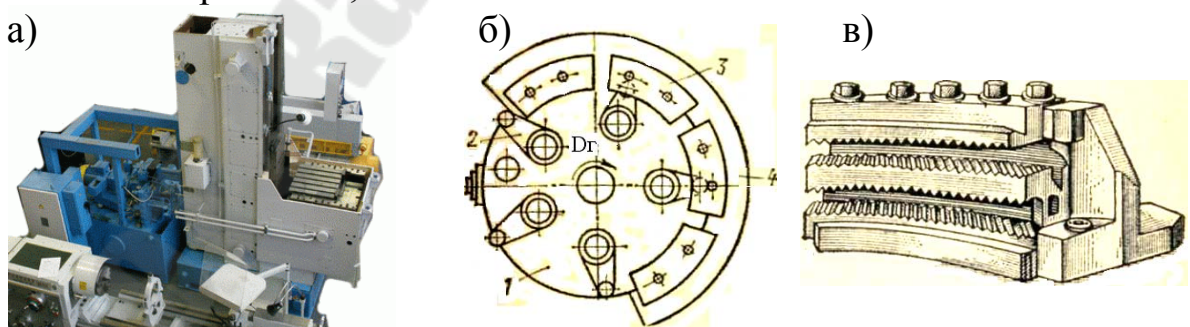


Рис. 3.53 – Общий вид вертикально-протяжных станков (а), схема протягивания плоскости на станке непрерывного действия (б) и вид держателя с протяжками (в)

Заготовки 2, закрепленные в приспособлениях и установленные на столе 1 станка в процессе обработки совершают главное вращательное движение. При этом они протягиваются между протяжками 3 последовательно через все держатели (секции), установленные на суппорте 4. Общий вид держателя (секции) с протяжками представлен на рис. 3. 53, в.

Протягивание является самым высокопроизводительным методом обработки плоскостей, обеспечивающим точность размеров IT7...IT9, шероховатость  $Ra = 3,2...0,8$  мкм.

Ограничениями широкого применения протягивания являются высокая стоимость и сложность инструмента, а также максимальная ширина протягивания до 350 мм.

*Шабрение* выполняют с помощью режущего инструмента — шабера — вручную или механическим способом (рис. 3.54). Шабрение вручную — малопроизводительный процесс, требует большой затраты времени и высокой квалификации рабочего, но обеспечивает высокую точность. Механический способ выполняют на специальных станках, на которых шабер совершает возвратно-поступательное движение.

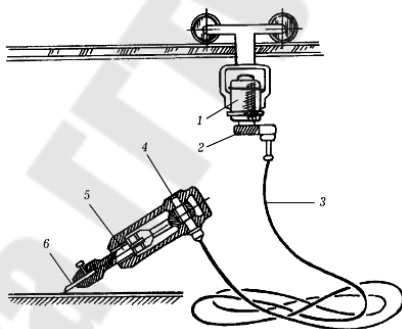


Рис. 3.54 - Механизированный электрический шабер:  
1 – электромотор; 2 – редуктор; 3 – гибкий вал; 4 – кривошип;  
5 —шатун; 6 – шабер

Точность шабрения определяют по числу пятен на площади 25 x 25 мм (при проверке контрольной плитой). Чем больше пятен, тем точнее обработка.

Сущность шабрения состоит в соскабливании шаберами слоев металла (толщиной около 0,005 мм) для получения ровной поверхности после ее чистовой предварительной обработки. Шабрение называют тонким, если число пятен более 22 и  $Ra < 0,08$  мкм, и чистовым, если число пятен 6...10, а  $Ra < 1,6$  мкм.

### 3.5.3. Обработка плоских поверхностей абразивным инструментом

Как и наружные цилиндрические поверхности деталей типа тел вращения, плоские поверхности обрабатывают шлифованием, полированием и доводкой.

Шлифование плоских поверхностей осуществляют на плоскошлифовальных станках с крестовым (рис. 3.55, а) или круглым (рис. 3.55, б. в) столом, как обычного исполнения, так и с ЧПУ (рис. 3.55, б). Плоское шлифование является одним из основных методов обработки плоскостей деталей машин (особенно закаленных) для достижения требуемого качества. В ряде случаев плоское шлифование может с успехом заменить фрезерование. Шлифование плоских поверхностей может быть осуществлено двумя способами: периферией круга и торцом круга (рис. 3.55, г - е).

Шлифование периферией круга может осуществляться тремя способами: 1) многократными рабочими ходами; 2) установленным на размер кругом; 3) ступенчатым кругом.

При первом способе (рис. 3.55, г) поперечное движение подачи круга производится после каждого продольного хода стола, а вертикальное — после рабочего хода по всей поверхности длины деталей.

При втором способе (рис. 3.55, д) шлифующий круг устанавливается на глубину, равную припуску, и при малой скорости перемещения стола обрабатывают заготовку по всей длине. После каждого рабочего хода шлифовальный круг перемещается в поперечном направлении от 0,7...0,8 высоты круга. Для чистового рабочего хода оставляют припуск 0,01...0,02 мм и снимают его первым способом. Этот способ применяют при обработке на мощных шлифовальных станках.

При шлифовании третьим способом круг профилируют ступеньками. Припуск, распределенный между отдельными ступеньками, снимается за один рабочий ход.

На рис. 3.55, е показана схема шлифования установленным на размер кругом на станке с вращающимся столом.

Плоским шлифованием обеспечиваются следующие точность размеров и шероховатость поверхности:

- IT8...IT9, Ra= 1,6 мкм - черновое (предварительное) шлифование;



- IT8...IT9,  $R_a = 0,4...1,6$  мкм - чистовое шлифование;
  - IT6...IT7,  $R_a = 0,4...0,1$  мкм - тонкое шлифование.
- Шлифование обычно производится с применением СОЖ.

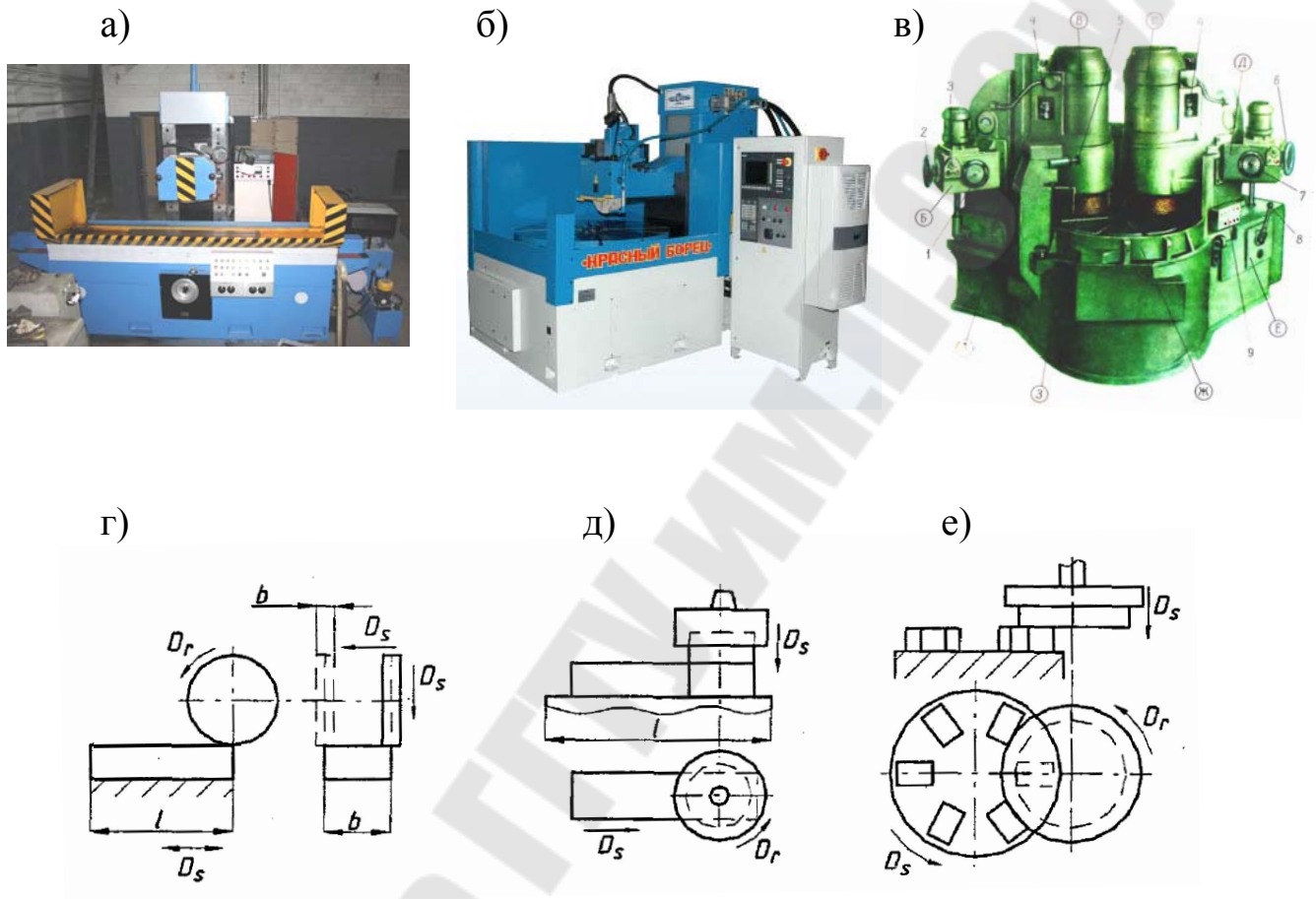


Рис. 3.55 – Общие виды плоскошлифовальных станков (а - в) и схемы шлифования плоскостей (г - е)

*Полирование поверхностей* является методом отделочной обработки. В качестве абразивных инструментов применяют эластичные шлифовальные круги, шлифовальные шкурки.

*Доводка плоскостей* осуществляется на плоскопроводочных станках. Тонкую доводку плоских поверхностей осуществляют притирами. Осуществляют доводку при давлении 20... 150 кПа, причем, чем меньше давление, тем выше качество обработанной поверхности. Скорости при тонкой доводке небольшие (2...10 м/мин). С повышением давления и скорости производительность повышается.

### 3.6. Технология изготовления зубчатых колес

#### 3.6.1. Общие сведения

В современных машинах широко применяют зубчатые передачи. Различают силовые зубчатые передачи, предназначенные для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов, и кинематические передачи, служащие для передачи вращательного движения между валами при относительно небольших крутящих моментах.

Зубчатые передачи, используемые в различных механизмах и машинах, делят на цилиндрические, конические, червячные, смешанные и гиперболоидные (винтовые и гипоидные).

Наибольшее распространение получили цилиндрические, конические и червячные передачи (рис. 3.56).

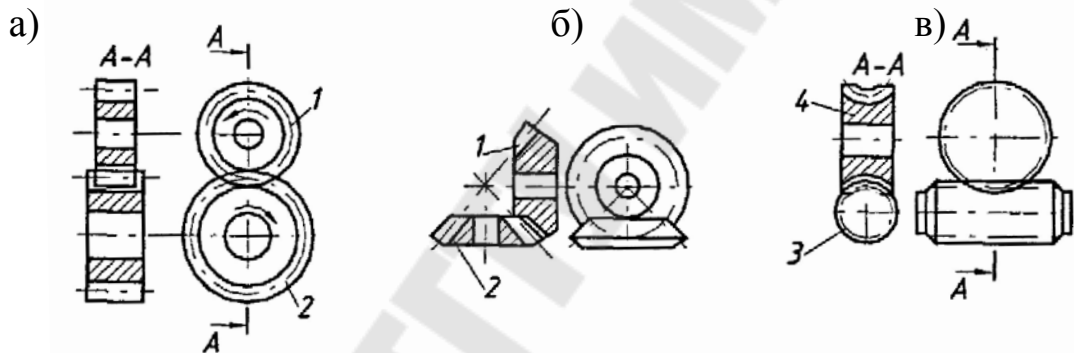


Рис. 3.56 – Виды зубчатых передач:

а – цилиндрическая; б – коническая; в – червячная; 1 – шестерня; 2 – зубчатое колесо; 3 – червяк; 4 – червячное колесо

Обработка зубчатых колес разделяется на два этапа: обработку до нарезания зубьев и обработку зубчатого венца. Задачи первого этапа соответствуют в основном аналогичным задачам, решаемым при обработке деталей классов: диски (зубчатое колесо плоское без ступицы), втулки (со ступицей) или валов (вал-шестерня). Операции второго этапа обычно сочетают с отделочными операциями обработки корпуса колеса.

Технологическими задачами являются следующие:

- точность размеров. Самым точным элементом зубчатого колеса является отверстие, которое выполняется обычно по 7-му качеству, если нет особых требований;

- точность формы. В большинстве случаев особых требований к точности формы поверхностей не предъявляется;
- точность взаимного расположения. Требования к точности взаимного расположения представлены на рис. 3.57;

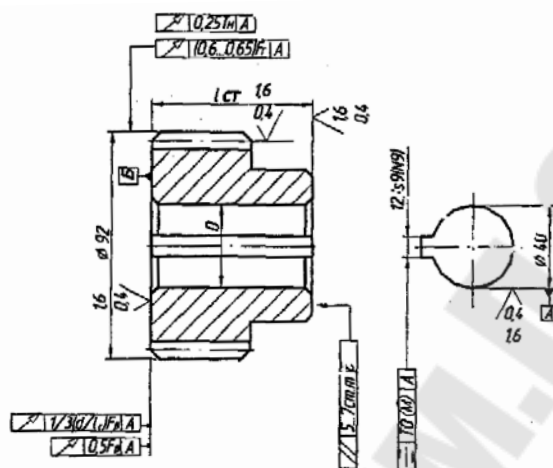


Рис. 3.57 – Зубчатое колесо с типовыми требованиями к точности его изготовления

- твердость рабочих поверхностей. В результате термической обработки поверхностная твердость зубьев цементируемых зубчатых колес должна быть в пределах HRC<sub>3</sub>45...60 при глубине слоя цементации 1...2 мм. При цианировании твердость HRC<sub>3</sub>42...53, глубина слоя должна быть в пределах 0,5...0,8 мм;

Твердость незакаливаемых поверхностей обычно находится в пределах HB 180...270.

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготавливают из углеродистых, легированных сталей, чугуна, пластических масс.

Легированные стали обеспечивают более глубокую прокаливаемость и меньшую деформацию по сравнению с углеродистыми.

Материал зубчатых колес должен обладать однородной структурой, обеспечивающей стабильность размеров после термической обработки, особенно по размеру отверстий и шагу колес. Нестабильность возникает после цементации и закалки, когда в заготовке сохраняется остаточный аустенит, она может также возникнуть в результате наклепа и при механической обработке.

Установлено, что наибольшее коробление дает цементация и меньшее - закалка, поэтому часто исправление коробления и повышение точности шевингованием производят не до цементации, а между цементацией и закалкой.

При изготовлении высокоточных колес рекомендуется чередовать механическую обработку с операциями термической стабилизации размеров для снятия внутренних напряжений.

Различают основные виды заготовок зубчатых колес при разных конструкциях и серийности выпуска:

- заготовка из проката;
- поковка, выполненная свободной ковкой на ковочном молоте;
- штампованная заготовка в подкладных штампах, выполненных на молотах или прессах;
- штампованная заготовка в закрепленных штампах, выполненных на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах.

Заготовки, получаемые свободной ковкой на молотах, по конфигурации не соответствуют форме готовой детали, но структура металла благодаря ковке улучшается по сравнению с заготовкой, отрезанной пилой от прутка

Штамповка заготовок в закрытых штампах имеет ряд преимуществ: снижается расход металла из-за отсутствия облоя, форма заготовки ближе к готовой детали, снижается себестоимость, экономия металла составляет от 10 до 30 %. Однако отмечается повышенный расход штампов.

Штамповка на прессах имеет большое преимущество перед штамповкой на молотах: получается точная штампованная заготовка, припуски и напуски меньше на 30 %, по конфигурации заготовка ближе к готовой детали. На прессах можно штамповать с прошиванием отверстия.

Штамповкой на горизонтально-ковочных машинах изготавливают заготовки зубчатых колес с хвостовиком или с отверстием.

### 3.6.2. Основные методы формообразования зубчатых колес

Классификация основных методов формообразования зубчатых поверхностей и их возможности по обеспечению степеней точности и шероховатости представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Основные методы формообразования зубьев зубчатых колес

Зубонарезание				Отделка зубьев			Обработка давлением														
Зубофрезерование		Зубодобление	Зубострогание	Зуботочение	Зубопрогибание	Шевингование зубьев	Хонингование зубьев	Шлифование зубьев	Обкатывание зубьев	Накатывание зубьев											
Модульной фрезой	Червячной фрезой																				
Ст. точн.	Ra	Ст. точн.	Ra	Ст. точн.	Ra	Ст. точн.	Ra	Ст. точн.	Ra	Ст. точн.	Ra										
10...9	12,5...6,3	10...8	6,3...3,2	8...7	3,2...1,6	7...6	3,2...0,8	8...7	3,2...1,6	7...8	3,2...0,8	7...6	1,25...0,63	6...5	0,5...0,1	6...5	1,25...0,5	7...5	1,0...0,32	9...8	2,0...0,8

В зависимости от способа образования зубьев различают два метода зубонарезания: копирования и обкатку. Оба метода используют на различных зубообрабатывающих станках

*Нарезание зубьев по методу копирования* осуществляют модульной концевой (на вертикально-фрезерных станках) и модульной дисковой фрезой (на горизонтально-фрезерных станках). Нарезание, по существу, представляет собой разновидность фасонного фрезерования. Режущие кромки зубьев концевой (рис. 3.58, а) и дисковой (рис. 3.58, б) фрезы изготовляют по форме впадины между зубьями колеса, и при фрезеровании они копируют форму впадины, создавая, таким образом, две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма (движение  $D_y$ ), и фреза снова проходит по новой впадине между зубьями, и т.д.

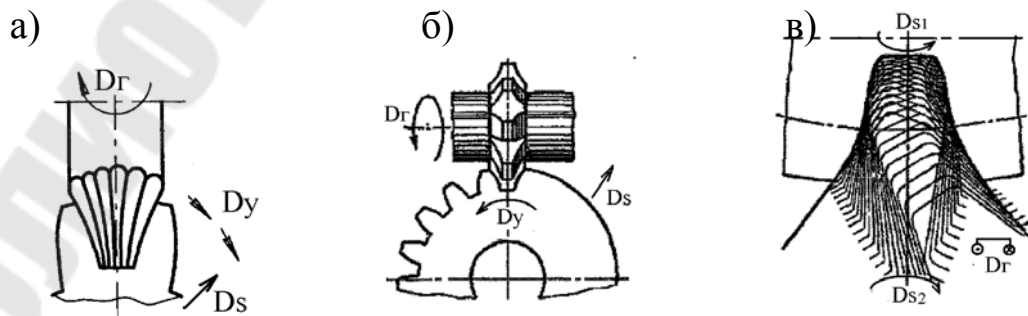


Рис. 3.58 – Методы обработки зубьев колес

Распространённой разновидностью метода копирования является зубофрезерование. Зубофрезерование осуществляется на зубофрезерных вертикальных и горизонтальных станках-полуавтоматах. На зубофрезерных станках производят нарезание цилиндрических зубчатых колёс по методу обкатки или копирования.

Другой разновидностью нарезания зубчатых колёс методом копирования является протягивание как наружных, так и внутренних зубчатых поверхностей, характеризующееся высокой производительностью.

В массовом производстве применяют зубодолбёжные резцовые головки, работа которых основана на методе копирования. Производительность такого метода очень высока, точность зависит от точности резцовой головки.

*При методе обкатки* (рис. 3.58, в) заготовка и инструмент воспроизводят движение пары сопряжённых элементов зубчатой или червячной передачи. Для этого либо инструменту придаётся форма детали, которая могла бы работать в зацеплении с нарезаемым колесом (зубчатое колесо, зубчатая рейка, червяк), либо инструмент выполняют таким образом, чтобы его режущие кромки описывали в пространстве поверхность профиля зубьев некоторого зубчатого колеса или зубчатой рейки, которые называют соответственно производящим колесом или производящей рейкой. В процессе взаимного обкатывания заготовки и инструмента (движения  $Ds_1$  и  $Ds_2$ ) режущие кромки инструмента, постепенно удаляя материал из нарезаемой впадины заготовки, образуют на ней зубья.

### Обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования заключается в последовательном фрезеровании впадин между зубьями фасонной дисковой или пальцевой модульными фрезами. Такие фрезы изготавливают набором из 8 или 15 штук для каждого модуля. Обычно применяют набор фрез из 8 штук, обработка которыми позволяет получить зубчатые колеса 9-й степени точности. Такое количество фрез в каждом наборе необходимо потому, что каждая фреза набора предназначена для определенного интервала числа зубьев

Дисковыми модульными фрезами можно нарезать как прямые, так и косые зубья с малым и большим модулем. Пальцевыми модульными фрезами нарезают зубья средних и крупномодульных цилиндрических шевронных колес, реек и др. Обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес дисковыми и пальцевыми модульными фрезами производится на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках в единичном и мелкосерийном производстве при отсутствии специальных зуборезных станков. Закрепление заготовки и ее поворот на обработку очередной впадины зубчатого колеса производится в универсальной делительной головке (рис. 3.59), устанавливаемой на столе станка. Метод имеет низкую производительность, обеспечивает IT9 - IT11 качество точности и шероховатость  $Rz = 60 \dots 80$  мкм.

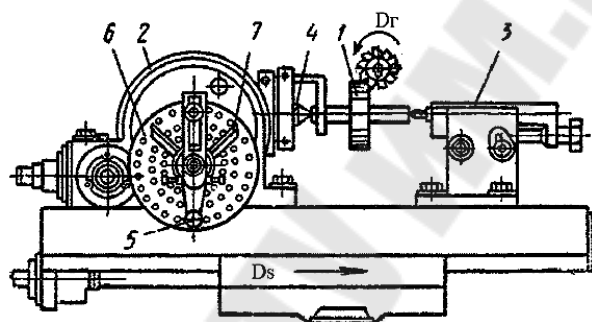


Рис. 3.59 - Схема обработки зубчатого колеса в делительной головке

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колёс методом обкатки производится с помощью следующих инструментов: червячных фрез (зубофрезерование); дисковых долбяков (зубодолбление) и долбяков в виде гребёнок-реек (зубострогание).

*Нарезание зубьев червячными фрезами* имеет более высокую производительность и наибольшее распространение, получаемая точность 8 - 9-й степеней и  $Rz = 20 \dots 40$  мкм. Процесс производится на зубофрезерных станках (рис. 3.60) червячными фрезами и может применяться как для прямых, так и косых зубьев. Фрезу на станке для обработки прямозубых зубчатых колес устанавливают под углом подъема винтовой линии витков фрезы. Станки выпускаются с горизонтальной или вертикальной осями вращения фрезы.

Зубчатые колеса с модулем  $m < 2,5$  мм нарезают за один ход начисто, с модулем  $m > 2,5$  мм нарезают начерно и начисто в два и даже в три хода.

Для черновых ходов применяются двух- и трехзаходные червячные фрезы для повышения производительности. •

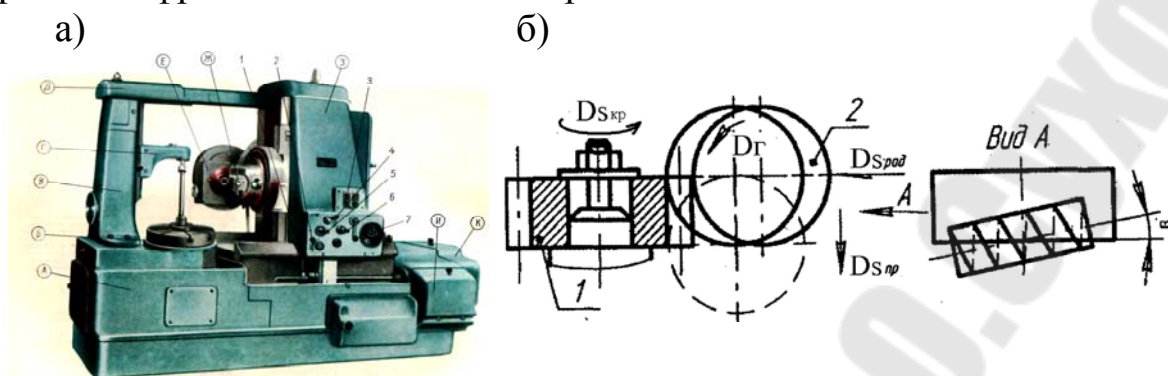


Рис. 3.60 – Общий вид зубофрезерного станка (а) и схема обработки зубчатого колес (б)

*Зубодолбление долбяками* применяют для черновой и чистовой обработки зубчатых колес с внутренним зацеплением и закрытых зубчатых венцов с внешним зацеплением.

Обычные зубчатые колеса средних модулей  $m=(2,5...5)$  мм целесообразно предварительно обрабатывать на зубофрезерных станках, а чистовую обработку на зубодолбежных станках с  $m>5$  мм экономичнее обрабатывать на зубофрезерных станках, с  $m<2,5$  мм на зубодолбежных станках. Зубодолбление позволяет получить **7-8** степени точности и  $Rz=10...20$  мкм (рис. 3.61).



Рис. 3.61 – Общий вид зубодолбежного станка (а) и схема обработки зубчатого колеса (б)

В индивидуальном производстве для неточных зубчатых колес и в условиях ремонта при отсутствии зуборезных станков зубья можно



обработать на долбежном или строгальном станках фасонными резцами.

*Протягивание зубьев* может быть использовано в крупносерийном и массовом производстве для протягивания по методу копирования наружных и внутренних зубчатых поверхностей, а также зубьев зубчатых секторов (рис. 3.62).

Обычно протяжку проектируют так, чтобы число одновременно режущих зубьев было в 2 раза меньше числа зубьев колес. Протягивание осуществляется в два приема с поворотом заготовки на окружной шаг. Этим методом получают колеса 7-й степени точности.

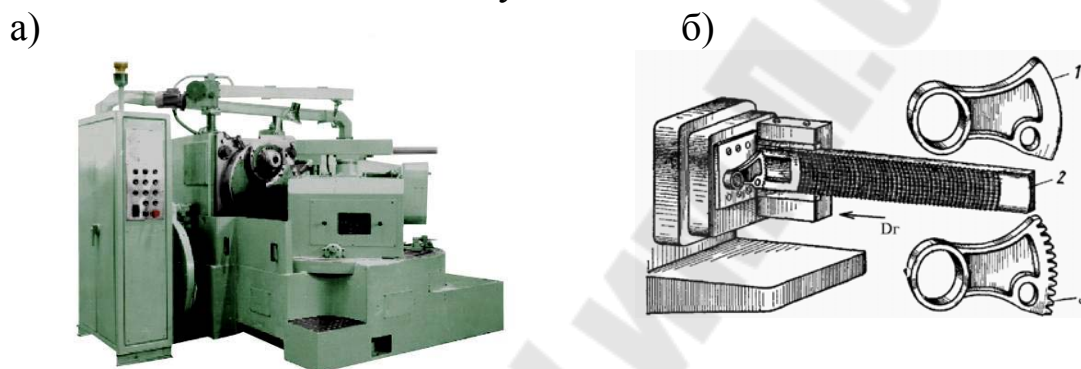


Рис. 3.62 – Общий вид зубопротяжного станка (а) и схема обработки зубчатого сектора(б)

*Накатывание зубьев* в 15-20 раз производительнее зубонарезания. Зубья модулем до 1 мм накатываются в холодном состоянии,  $m > 1$  мм - в горячем состоянии.

В холодном состоянии мелко модульные зубчатые колеса в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств могут накатываться на токарных станках с продольной подачей.

В крупносерийном и массовом производстве накатывание производится на специальных станках плоскими рейками.

Достигаемая степень точности - 8, шероховатость  $Ra = 1,2 \dots 2,0$  мкм.

Горячее накатывание может производиться как с радиальной (рис. 3.63, б), так и продольной подачей. Применяется в крупносерийном и массовом производстве и осуществляется на специальных модульных станках. Нагрев заготовки осуществляется ТВЧ до  $t = 1000 \dots 1200$  °С за 20 ... 30 с до накатывания. Штучное время накатывания зубьев на заготовках с  $m=2\dots3$  мм составляет от 30 до 60 сек в зависимости от числа зубьев.

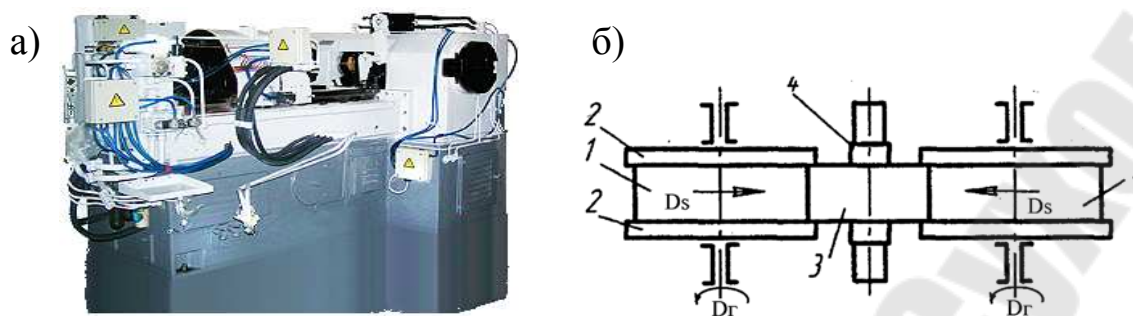


Рис. 3.63 – Общий вид шлице-зубонакатного станка (а) и схема накатки зубчатого колеса (б)

Основными видами отделочной обработки зубьев являются: шевингование, шлифование, хонингование и притирка.

*Шевингование* - это метод чистовой обработки зубьев зубчатых цилиндрических колес, заключающийся в процессе обкатывания зубчатого колеса шевером. (рис. 3.64, б). Шевингование повышает точность предварительной обработки на 1 - 2 степени (до 6...7 степени точности) и позволяет получить шероховатость  $Ra = 0,6 \dots 1,0$  мкм.

Шевингование применяется в серийном, крупносерийном и массовом производствах в основном для отделки зубьев до термообработки (твердость обычно не более HRCэ 40) на шевинговальных станках с горизонтальной (рис. 3.64, а) или вертикальной осью (для обработки колес большого диаметра).



Рис. 3.64 – Общий вид зубошевинговального станка (а) и принципиальная схема шевингования зубчатых колес (б)

*Шлифование зубьев* применяется для получения особо высокой точности (5...6 степень) зубьев после термообработки.

Шлифование зубьев с эвольвентным профилем производится методом копирования и методом обкатки.

Метод копирования, осуществляемый фасонными профильными кругами (рис. 3.65, б), более производительный, но менее точный. Он применяется в крупносерийном и массовом производствах.

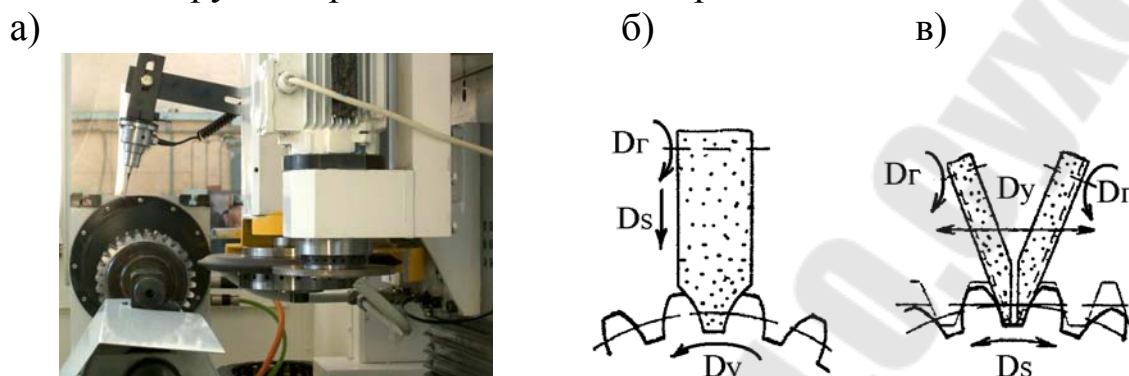


Рис. 3.65 – Рабочая зона зубошлифовального станка (а) и схемы шлифования зубчатых колес (б, в)

Шлифование зубьев методом обкатки производится одним или двумя (рис. 3.65, в) тарельчатыми кругами на зубошлифовальных станках.

*Зубохонингование* применяется для чистовой обработки зубьев закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления (рис. 3.66).

Зубчатое колесо осуществляет вращательное и возвратно-поступательное движение. Обработка производится на специальных зубохонинговальных станках с помощью зубчатого абразивного инструмента – хона. Время хонингования обычного зубчатого колеса составляет 30 ... 60 с. Хонингование зубьев позволяет уменьшить шероховатость их поверхности до  $R_a - 0,32$  мкм и тем самым повысить долговечность зубчатой передачи.

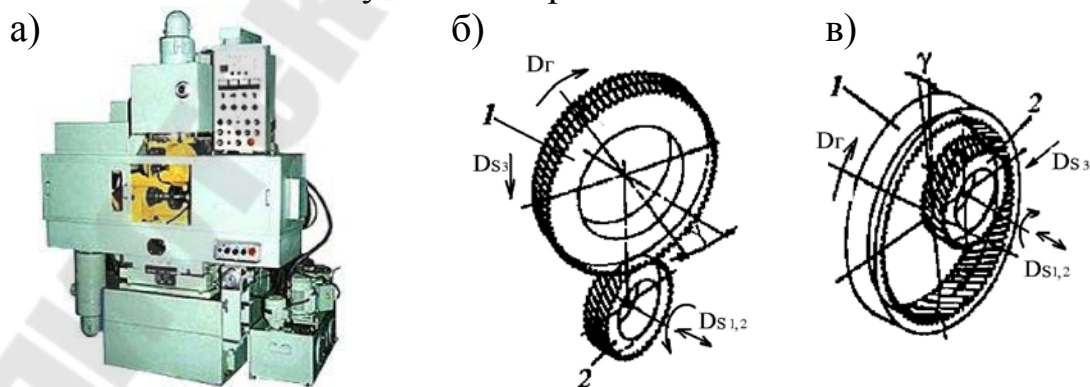


Рис. 3.66 – Общий вид зубохонинговального станка (а) и схемы обработки колес хонем с внешним (б) и внутренним (в) зацеплением: 1 – хон; 2 – зубчатое колесо

*Притирка* зубьев (ляппинг-процесс) широко применяется для чистовой окончательной отделки зубьев после термообработки вместо шлифования. Процесс притирки заключается в том, что обрабатываемое зубчатое колесо вращается в зацеплении с чугунными шестернями-притирами, приводимыми во вращение и смазываемыми пастой, состоящей из смеси мелкого абразивного порошка с маслом. Кроме того, обычно колесо имеет осевое возвратно-поступательное перемещение.

Притирка позволяет получить  $Ra = 0,1$  мкм и исправить небольшую погрешность. При наличии значительных погрешностей зубчатые колеса необходимо сначала шлифовать, а затем притирать.

### Обработка зубьев конических зубчатых колес

В единичном и серийном производствах при отсутствии зуборезных станков конические зубчатые колеса с прямым и косым зубом можно нарезать на универсально-фрезерном станке с использованием делительной головки дисковыми модульными фрезами (9 - 10-я степени точности,  $Rz=20...50$ мкм). Для нарезания зубчатых колес 7 - 8-й ( $Rz = 10 \dots 20$  мкм) степеней точности требуются специальные зуборезные станки.

В серийном и массовом производстве прямые зубья конических колес нарезают методом обкатки -зубостроганием (рис. 3.67). Время нарезания зуба 3,5 ... 30 с.

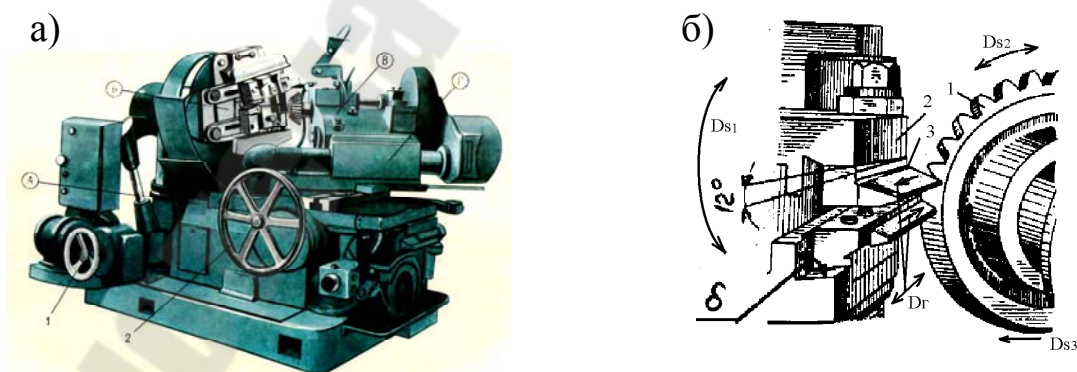


Рис. 3.67– Общий вид зубострогального станка (а) и схема обработки зубьев прямозубых конических колес (б)

При этом зубья с  $m > 2$ , мм предварительно прорезают профильными дисковыми фрезами методом деления на специальных

или специализированных станках. Эти станки снабжаются специальным устройством для установки нескольких заготовок и их автоматического поворота.

В крупносерийном и массовом производстве для предварительного нарезания зубьев конических зубчатых колес применяют зуборезные станки для одновременного фрезерования трех заготовок с автоматическим делением, остановом, подводом и отводом стола.

В массовом производстве для обработки прямых зубьев небольших конических колес применяют производительный метод - круговое протягивание зубьев на специальных зубопротяжных станках.

Нарезание конических зубчатых колес с криволинейными зубьями производится на специальных станках, работающих методом копирования и обкатки. Режущим инструментом служат режущие головки.

Черновое нарезание производится методом копирования. Чистовое - методом обкатки.

В настоящее время зубья конических колес с успехом накатываются и шлифуются.

Обработка зубьев червячных зубчатых колес и червяков

*Нарезание червячных зубчатых колес* производится на зубофрезерных станках червячными фрезами способами радиальной или тангенциальной подачи. Наиболее распространенным способом является нарезание с радиальной подачей (рис. 3.68, а), который применяется для однозаходных и, реже, двухзаходных колес. Обеспечивается 8 - 9-я степень точности и  $Rz=15...30$  мкм.

Способом тангенциальной подачи нарезаются червячные зубчатые колеса к многозаходным червякам (рис. 3.68, б). Данный способ позволяет получить 9 - 10 степень и  $Rz = 20 ... 40$  мкм.

Нарезание зубьев червячного глобоидного колеса обычно производят за две операции: предварительное нарезание при радиальной подаче и чистовое нарезание при круговой подаче, В единичном и мелкосерийном производстве применяют резцы, в серийном, крупносерийном и массовом - глобоидные гребенки и глобоидные фрезы.

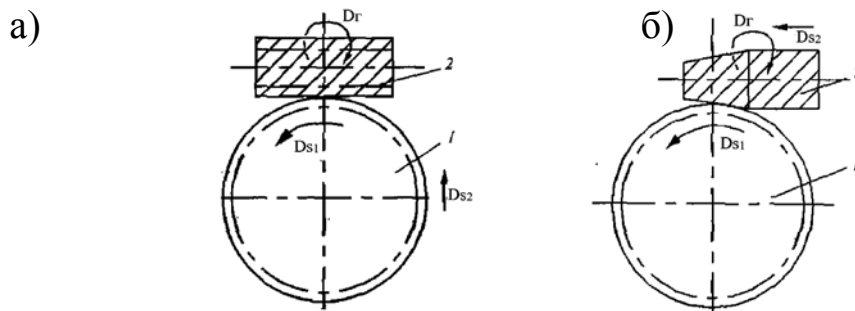


Рис. 3.68 – Схемы нарезания червячного колеса с радиальной (а) и тангенциальной (б) подачей

*Нарезание червяков.* В единичном, мелкосерийном и серийном производстве червяки нарезают на токарных станках. В крупносерийном и массовом производстве фрезеруются дисковыми фрезами (рис. 3.69, а) или нарезают с помощью вихревых головок. Обеспечивается 9 степень точности и  $R_z = 10 \dots 30$  мкм. Шлифование червяков осуществляется дисковыми конусными или тарельчатыми кругами (рис. 3.69, б) с припуском  $0,1 \dots 0,2$  мм.

Червяки с малым модулем шлифуются на резьбошлифовальном или на токарном станке со спецустройством (рис. 3.69, г). В крупносерийном и массовом производстве шлифование червяков с  $m > 3$  мм осуществляется на специальном червячно-шлифовальном станке коническими дисковыми кругами  $D > 800$  мм (рис. 3.69, в).

Шлифование позволяет получить 7 - 8-ю степень точности и  $R_a = 1,25 \dots 2,5$  мкм.

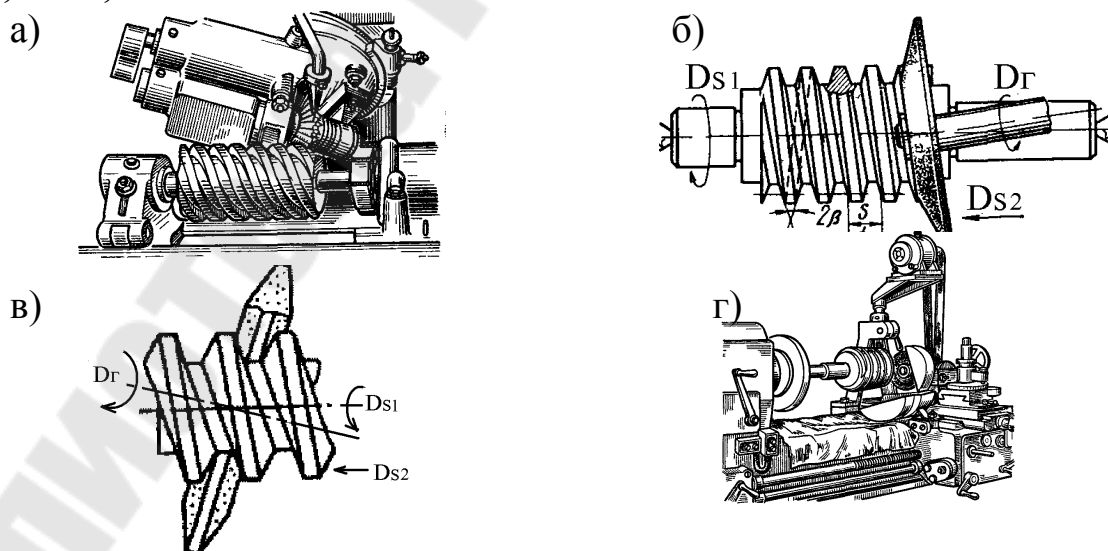


Рис. 3.69 – Обработка червяков: дисковой фрезой (а); шлифовальным кругом (б, в) и устройство для шлифования червяка на токарном станке (г)

Для отделки витков червяков ответственных передач применяют притирку чугунами или фибровыми притирами, имеющими форму червячного колеса, или обкатку закаленным роликом. Они позволяют получить  $Ra = 0,2 \dots 0,8$  мкм.

Эвольвентные червяки в единичном и мелкосерийном производстве нарезают на токарных станках с отдельной обработкой каждой стороны витка. В серийном, массовом производстве эвольвентные червяки фрезеруют фасонными дисковыми, пальцевыми фрезами и фрезами улитками. Это позволяет получить 9 степень точности и  $Rz = 10 \dots 20$  мкм.

Глобоидные червяки нарезают на зубофрезерных станках с применением специальных устройств

## ЛИТЕРАТУРА

1. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
2. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. М., Высш. шк, 1976. 543с.
3. Жуков Э.Л. и др. Технология машиностроения: В 2 кн. Учеб. пособие для вузов. М., Высш. шк, 2003. – 507 с.
4. Ткачев А.Г. Технология машиностроения.- Тамбов: Тамбовский гос. техн. универс., 2009. 164 с.



**Лепший Александр Парфенович**  
**Лепшая Наталья Агафоновна**

## **ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

**КУРС ЛЕКЦИЙ**  
**для слушателей специальности 1-59 01 01**  
**«Охрана труда в машиностроении**  
**и приборостроении»**  
**заочной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 06.10.14.  
Рег. № 93Е.