

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения

## Основы технологии машиностроения

Учебное пособие

Тольятти 2015

УДК 621 (075.8)

ББК 34.5

Т-75

Сергеев А.В.

Технология машиностроения: Учебное пособие для студентов экономических специальностей вузов. – Тольятти.: Изд-во Тольяттинского государственного университета, 2015 – 124 с.

Рецензент:

Доктор технических наук, профессор, Васильев А.В.

В пособии рассматриваются основные понятия и определения машиностроительного производства, методы обработки резанием типовых поверхностей, основы заготовительного производства и некоторые методы получения заготовок, виды термической обработки металлов, основные понятия о разработке технологических процессов сборки, основные принципы проектирования технологических процессов изготовления деталей. Для лучшего понимания основ технологии машиностроения приведены начальные сведения о деталях машин, машиностроительных материалах, основные понятия о взаимозаменяемости.

Табл. 3 Ил. 64

## Содержание

Введение .....	6
Глава 1. Основные положения и понятия .....	7
§ 1.1 Производственный и технологический процессы .....	7
§ 1.2 Типы машиностроительного производства .....	12
§ 1.3 Основы теории базирования .....	13
§ 1.4 Производственный состав машиностроительного предприятия .....	15
Вопросы для самоконтроля .....	17
Глава 2. Основные понятия о взаимозаменяемости .....	18
§ 2.1 Понятие о точности .....	18
§ 2.2 Допуски и посадки .....	19
Вопросы для самоконтроля .....	25
Глава 3. Основные сведения о деталях машин .....	27
§ 3.1 Критерии работоспособности деталей машин .....	27
§ 3.2 Соединения деталей машин .....	27
§ 3.3 Механические передачи .....	36
§ 3.4 Валы и оси .....	46
Вопросы для самоконтроля .....	51
Глава 4. Методы обработки типовых поверхностей .....	52
§ 4.1 Токарная обработка .....	52
§ 4.1.1 Приспособления для токарных работ .....	56
§ 4.1.2 Инструменты для токарных работ .....	59
§ 4.2 Шлифование .....	59
§ 4.3 Обработка отверстий .....	65
§ 4.4 Обработка на сверлильных станках .....	66
§ 4.5 Обработка на расточных станках .....	69
§ 4.6 Протягивание .....	69
§ 4.7 Обработка фрезерованием .....	70
§ 4.8 Обработка зубчатых поверхностей .....	73

§ 4.9 Точность и шероховатость, достигаемая различными методами обработки .....	81
Вопросы для самоконтроля .....	82
Глава 5. Основные металлические материалы, применяемые в машиностроении .....	83
§ 5.1 Конструкционные стали .....	83
§ 5.2 Инструментальные материалы .....	86
§ 5.3 Чугуны .....	88
§ 5.4 Цветные металлы .....	89
Вопросы для самоконтроля .....	91
Глава 6. Виды термической обработки материалов .....	92
§ 6.1 Объёмная закалка .....	92
§ 6.2 Отпуск .....	92
§ 6.3 Цементация .....	93
§ 6.4 Закалка токами высокой частоты .....	93
§ 6.5 Отжиг .....	94
§ 6.6 Старение .....	94
Вопросы для самоконтроля .....	95
Глава 7. Основы заготовительного производства в машиностроении .....	96
§ 7.1 Литейное производство .....	96
§ 7.2 Получение заготовок методами обработки металлов давлением .....	97
§ 7.3 Получение заготовок из проката .....	102
§ 7.4 Сварные заготовки .....	104
§ 7.5 Завершающие операции заготовительного производства .....	105
Вопросы для самоконтроля .....	106
Глава 8. Основные понятия о разработке технологических процессов сборки .....	107
§ 8.1 Общие понятия о сборочных процессах .....	107
§ 8.2 Виды работ, выполняемые в сборочном производстве .....	108
§ 8.3 Технологическая организация процессов сборки .....	110

§ 8.4 Оборудование и инструменты, применяемые в сборочном производстве .....	112
Вопросы для самоконтроля .....	113
Глава 9. Основные принципы разработки технологических процессов изготовления деталей машин .....	114
Вопросы для самоконтроля .....	121
Заключение .....	123
Рекомендуемая литература .....	124

## Введение

Современное общество постоянно производит товарную продукцию различного назначения. В свою очередь производство уже нельзя представить без применения машин. Их изготовление – это самостоятельная отрасль науки и техники – технология машиностроения.

Технология машиностроительного производства представляет собой сочетание различных технологических процессов: литья,ковки, штамповки, термической обработки, обработки резанием деталей, окраски и др. Учебное пособие позволит дать основные знания понятий машиностроительного производства, методов обработки резанием, методов получения заготовок, средств технологического оснащения машиностроительного производства, принципов проектирования технологических процессов изготовления деталей и сборки машин.

## Глава 1. Основные положения и понятия

### § 1.1 Производственный и технологический процессы

Главным средством интенсификации производства любого назначения является парк машин. Технический прогресс предопределяется техническим уровнем применяемых машин. Их создание, т.е. конструирование и изготовление, составляет основу машиностроения. Именно машиностроение определяет возможность развития других отраслей. Применение машин резко увеличивает производительность труда и повышает качество и технический уровень продукции. В конкурентной борьбе неизменно выигрывает тот, кто имеет более совершенные машины [9; 5].

Машиной называют устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека [9; 8]. Соответственно, машины разделяют на:

- энергетические: электрические двигатели, двигатели внутреннего сгорания, турбины;
- рабочие: транспортные (автомобили, самолёты, локомотивы, суда и др.) и технологические (транспортёры, прокатные станы, металлорежущие станки);
- информационные: измерительные, контрольно-управляющие, электронно-вычислительные.

Каждая машина предназначена для выполнения определённых функций в заданном диапазоне изменения условий её эксплуатации [9; 8]. Совокупность свойств, обуславливающих пригодность машины выполнять указанные функции называют качеством машины. Качество машины принято характеризовать системой показателей, устанавливаемых действующими стандартами. К наиболее важным относят эксплуатационные показатели: технический уровень машины, её надёжность, эргономическую и эстетическую

характеристики. Технический уровень (мощность, КПД, производительность, точность работы, степень автоматизации, экономичность) определяет степень совершенства машины. Надёжность является комплексным свойством, которое включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Под надёжностью понимают свойство машины сохранять исправное и работоспособное состояние в течение определённого промежутка времени. Качество машины формируется на всех этапах её «жизненного цикла» (см. рис. 1.1) [9; 9].

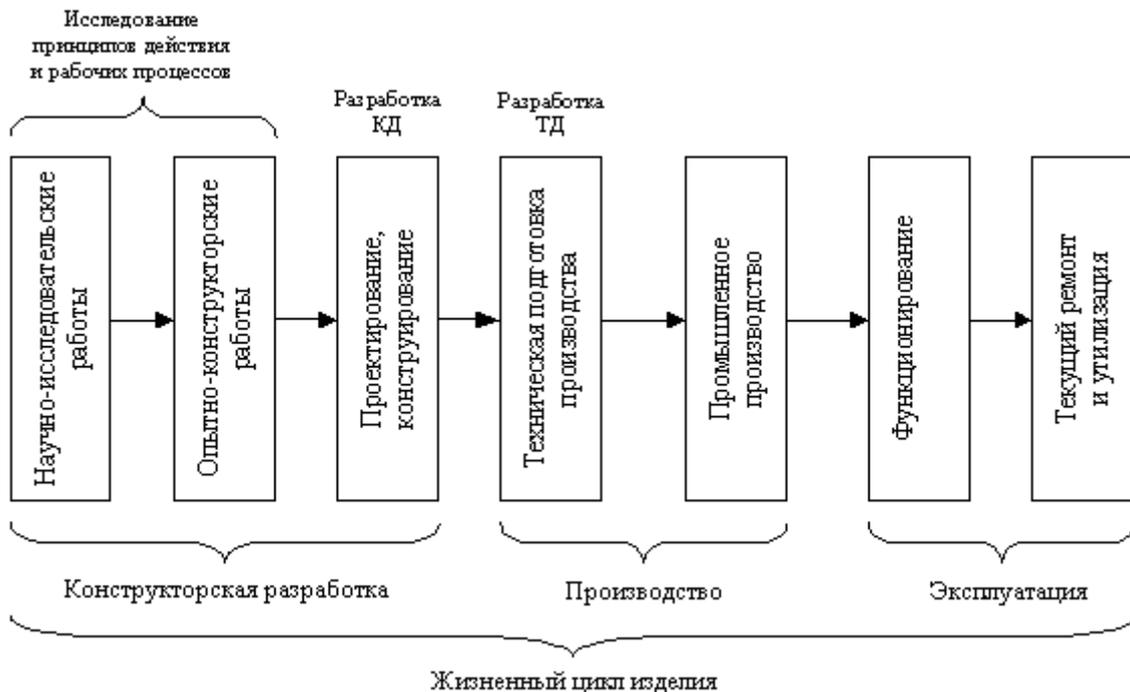


Рис. 1.1 Жизненный цикл изделия

На стадии конструкторской разработки качество определяется выбором рациональных схем, эффективных рабочих процессов, использованием современных методов расчёта динамики, прочности и точности машин, выбором материалов, применением подтверждённых испытаниями оригинальных конструкторских, а также стандартных и унифицированных решений. Конструкторская разработка заканчивается выпуском конструкторской документации, включающей чертежи элементов и машины в целом, а также технические условия на их изготовление.

Требования к качеству машины, сформированные при конструкторской разработке, должны быть обеспечены при её производстве [9; 10]. Производство, связанное с изготовлением машин, называют машиностроительным. Главной целью машиностроительного производства является изготовление машин заданного качества, в заданные сроки, в необходимом количестве и при наименьших затратах труда, материалов, энергии и иных ресурсов. Машиностроительное предприятие представляет собой сложноорганизованную, целенаправленную систему, объединяющую людей и средства производства для обеспечения выпуска изделий. Производство машины можно рассматривать как процесс, основными этапами которого являются: 1) приобретение и изготовление исходных материалов, полуфабрикатов, заготовок; 2) изготовление деталей; 3) сборка машины.

При описании машиностроительного производства используются стандартные термины и определения, которые установлены ГОСТ 14004–83 Единая система технологической подготовки производства, термины и определения основных понятий и ГОСТ 31109–82 Единая система технологической документации, термины и определения основных понятий.

Изделием называется любой предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии. Изделием может быть машина, сборочная единица или деталь. Например, для автомобильного завода изделием является автомобиль, для завода гидроаппаратуры – гидрораспределитель, следящий золотник, для метизного завода – болт, гайка, шайба.

Деталь – это изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Характерный признак детали – отсутствие в ней разъёмных и неразъёмных соединений.

Заготовкой называется предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств материала или поверхности изготавливают деталь. Отдельные детали могут быть получены непосредственно, например, литьём или обработкой давлением без последующей обработки. Но чаще всего окончательно деталь получают методами обработки резанием, а литьё,

штамповку, прокат используют в качестве заготовок. Исходная заготовка – это заготовка перед первой операцией. Полуфабрикат – это заготовка после любой операции, кроме финишной.

Сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединению. Для соединения используются сборочные операции. Сборочная единица в зависимости от конструкции может состоять либо из отдельных деталей, либо из сборочных единиц более высоких порядков и деталей. Различают сборочные единицы первого, второго и более высоких порядков. Сборочная единица первого порядка входит непосредственно в изделие. Сборочные единицы наивысшего порядка разделяется только на детали.

Изготовление изделий на предприятии осуществляется в результате производственного процесса. Производственный процесс – это совокупность всех действий, людей и орудий труда, необходимых на предприятии для изготовления и ремонта продукции. Производственный процесс охватывает подготовку средств производства и организацию обслуживания рабочих мест; получение и хранение материалов и полуфабрикатов; все стадии изготовления деталей машин; сборку изделий; транспортирование; технический контроль на всех стадиях производства; упаковку и другие действия, связанные с изготовлением выпускаемых изделий.

Важнейшим элементом производственного процесса является технологический процесс. Технологическим процессом называется часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению размеров, формы и свойств объекта производства. Операции, входящие в состав технологического процесса, выполняют в определённой последовательности. Указанную последовательность называют технологическим маршрутом.

Технологический процесс разделяется на следующие этапы:

1) изготовление заготовок деталей – литьё,ковка, штамповка или разделка прокатного материала;

- 2) обработка заготовок на металлорежущих станках для получения деталей с заданными размерами и формами;
- 3) сборка узлов и агрегатов, т.е. соединение отдельных деталей в сборочные единицы;
- 4) окончательная сборка всего изделия;
- 5) регулировка и испытания изделия.

Также в состав технологического процесса могут входить термическая обработка, окраска, декоративная отделка, нанесение защитных и металлопокрытий. Эти операции могут выполняться на различных этапах технологического процесса.

Операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одной единице технологического оборудования, на одном рабочем месте. При обработке на станках операция включает все действия рабочего, управляющего станком, а также автоматические движения станка до момента снятия заготовки со станка и передачи её на следующую позицию.

Рабочее место – это элементарная единица структуры предприятия, где размещён исполнитель работы, единица технологического оборудования, часть конвейера и технологическая оснастка. В зависимости от выполняемых работ к рабочему месту может подводиться электроэнергия, сжатый воздух, техническая вода, газ, пар; оно может оснащаться инструментальным шкафом, контейнером для заготовок и деталей, дополнительным освещением, местной вентиляцией, грузоподъёмными механизмами и др. Пример рабочего места показан на рис. 1.2 (вид в плане), где в масштабе изображается единица оборудования, а условными значками показаны исполнитель, местное освещение, подвод электроэнергии, сжатого воздуха, инструментальный шкаф и контейнер.

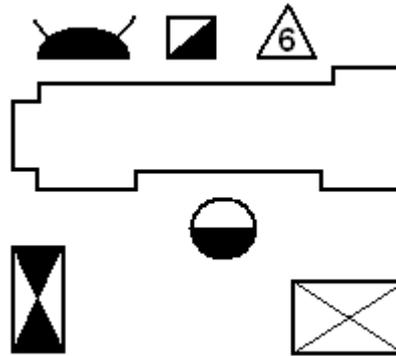


Рис. 1.2 Рабочее место

Установ – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки относительно станочного приспособления.

Технологический переход – часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах. Вспомогательный переход – это часть технологической операции, состоящая из действий человека или оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств заготовки, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход – часть технологического процесса, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки.

## § 1.2 Типы машиностроительного производства

Отношение числа всех различных технологических операций ( $N_O$ ), выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест ( $N_{PM}$ ) называют коэффициентом закрепления операций.

$$K_{ZO} = N_O / N_{PM}$$

Коэффициент закрепления операций является одной из основных характеристик типа производства. Различают три типа производства: массовое, серийное, единичное.

Массовое производство характеризуется большим объёмом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна операция. Для МП  $K_{30} = 1$ . Продукция массового производства – изделия узкой номенклатуры и стандартного типа, выпускаемые для широкого сбыта потребителю. Особенности этого производства являются: расположение оборудования в технологической последовательности (по ходу техпроцесса); выполнение каждой операции осуществляется на предварительно налаженном оборудовании, которое не переналаживают для выполнения других операций; применение специального оборудования и технологической оснастки; подробная разработка технологического процесса. В качестве заготовок применяются штамповки, отливки. Транспортирование заготовок осуществляется по конвейеру. Квалификация основных рабочих – невысокая, наладчиков – высокая.

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии или серии и  $K_{30}$  различают крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное производство. Для к/с  $1 \leq K_{30} \leq 10$ , для ср/с  $10 < K_{30} \leq 20$ , для м/с  $20 < K_{30} \leq 40$ . Продукцией серийного производства являются машины установившегося типа (станки, насосы, мощные двигатели) выпускаемые в значительных количествах.

В серийном производстве применяют специальные, специализированные, универсальные станки и станки с числовым программным управлением. Оборудование располагают по типам (токарные, фрезерные станки), по обрабатываемым изделиям, по этапам обработки заготовок, в ряде случаев – по ходу техпроцесса. За каждой единицей оборудования закрепляют несколько технологических операций, для выполнения которых производят переналадку оборудования. В целом крупносерийное производство имеет признаки массового, а мелкосерийное – признаки единичного.

Едиичное производство характеризуется малым объёмом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусмотрено.  $K_{30} > 40$ . Используется универсальное оборудование, расположенное в цехах по типам. Технологическая оснастка, инструменты – универсальные. В качестве заготовок используется прокат, сварные заготовки, в обоснованных случаях – литьё, ковка. Квалификация рабочих – высокая.

### § 1.3 Основы теории базирования

В зависимости от служебного назначения все поверхности детали по ГОСТ21495-76 подразделяют на основные конструкторские базы (ОКБ), вспомогательные конструкторские базы (ВКБ), исполнительные поверхности (ИП) и свободные поверхности (СП). *ОКБ* – это поверхности, которые определяют положение данной детали в изделии или узле. *ВКБ* – это поверхности, которые определяют положение присоединяемых к данной детали. *ИП* – это поверхности, выполняющие служебное назначение детали. *СП* – это поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей и образующие совместно с другими поверхностями конструкцию данной детали.

Базой называется поверхность, совокупность поверхностей, ось, точка детали или сборочной единицы по отношению к которым ориентируются другие детали изделия или поверхности детали. По характеру своего назначения базы подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные.

Группу конструкторских баз составляют основные и вспомогательные конструкторские базы.

Технологической базой называют поверхность, определяющую положение детали или сборочной единицы в процессе их изготовления.

Измерительной базой называют поверхность, определяющую относительное положение детали или сборочной единицы и средств измерения.

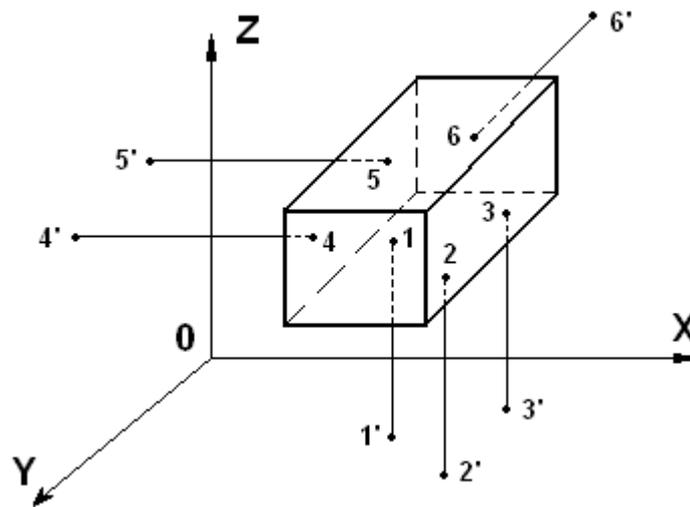


Рис. 1.3 Связи твёрдого тела

Известно, что требуемое положение твёрдого тела относительно системы координат  $Oxyz$  может быть задано наложением на него шести связей, лишаящих твёрдое тело возможности прямолинейного перемещения вдоль осей  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$  и возможности вращения вокруг этих осей. Рассмотрим рисунок 1.3. Связь можно представить как нерастяжимый и несжимаемый стержень. Связь 1-1' лишает тело возможности прямолинейного перемещения вдоль оси  $Oz$ , 4-4' – вдоль оси  $Ox$ , 6-6' – вдоль оси  $Oy$ . Связи 1-1' и 2-2' совместно лишают тело возможности вращения вокруг оси  $Oy$ , 1-1' и 3-3' совместно – вокруг оси  $Ox$ , 4-4' и 5-5' совместно – вокруг оси  $Oz$ .

В реальности, наложение связей достигается путём контакта базирующих поверхностей детали с базирующими поверхностями других деталей, станочного приспособления или измерительного приспособления и приложением определённого усилия для обеспечения необходимого контакта.

Для повышения точности изготовления деталей необходимо стремиться к тому, чтобы конструкторские, технологические и измерительные базы представляли собой одни и те же поверхности. Если базы не совпадают, возникают погрешности базирования, которые добавляются к погрешностям обработки, т.е. точности изготовления деталей снижается.

## § 1.4 Производственный состав машиностроительного предприятия

Машиностроительные заводы состоят из отдельных производственных единиц, называемых цехами, и различных устройств. Состав цехов, устройств и сооружений завода определяется объёмом выпуска продукции, характером технологических процессов, требованиями к качеству изделий и другими производственными факторами, а также в значительной мере степенью специализации производства и кооперирования завода с другими предприятиями и смежными производствами.

Специализация предполагает сосредоточение большого объёма выпуска строго определённых видов продукции на каждом предприятии. Кооперирование предусматривает обеспечение заготовками (отливками, поковками), комплектующими агрегатами и узлами, принадлежностями, различными приборами и устройствами, изготавливаемыми на других специализированных предприятиях.

Степень специализации завода значительно влияет на его производственную структуру. Например, если предприятие получает отливки с металлургического завода, то в его составе не будет литейных цехов; большинство предприятий не изготавливают крепёжных деталей, так как закупают их на специализированных заводах нормалей; автомобилестроительные заводы закупают приборы на специализированных предприятиях и устанавливают их на собираемые автомобили и т.п.

Приведённый ниже состав машиностроительного предприятия включает основные типовые цехи и устройства, необходимые для производства различной машиностроительной продукции.

1) Заготовительные цехи: чугунолитейные, сталелитейные, литейные цветных металлов, кузнечные, прессовые и др.

2) Обрабатывающие цехи: механические, термические, холодной штамповки, деревообрабатывающие, гальванические, сборочные, окрасочные и др.

3) Вспомогательные цехи: инструментальные, ремонтные, модельные, экспериментальные, испытательные и др.

4) Транспортные цехи (грузовые и легковые автомобили, тракторы, тягачи, спецтехника).

5) Складские устройства: для металла, материалов, топлива, инструментов и оснастки, готовой продукции и др.

6) Энергетические устройства: электроподстанции, теплоцентраль, компрессорные установки, газораспределительные станции.

7) Устройства коммунального хозяйства: водоснабжение, отопление, вентиляция, канализация.

8) Общезаводские учреждения и устройства: общезаводские лаборатории, общезаводские отделы и бюро, пункт связи, медицинский пункт, столовая и др.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Что называют машиной? Какие существуют виды машин?
- 2) Определение качества машины? Наиболее важные показатели качества машины?
- 3) Что есть производственный и технологический процесс?
- 4) Основные этапы технологического процесса?
- 5) Определение детали, заготовки, изделия?
- 6) Что есть рабочее место? Техническое оснащение рабочего места?
- 7) Каковы основные характеристики массового производства?
- 8) Каковы основные характеристики серийного производства?
- 9) Каковы основные характеристики единичного производства?
- 10) Что называют базой детали или сборочной единицы? Виды баз?
- 11) Типовой состав машиностроительного предприятия?

## **Глава 2. Основные понятия о взаимозаменяемости**

### **§ 2.1 Понятие о точности**

При конструировании и изготовлении различных изделий, наряду с кинематическими, динамическими, расчётами на прочность, жёсткость и износоустойчивость, производятся расчёты на точность. Точность – основная характеристика деталей машин. Абсолютно точно изготовить деталь невозможно, так как при её изготовлении на всех этапах технологического процесса возникают погрешности, поэтому точность изготовления деталей бывает различной.

Под точностью обработки понимают степень соответствия изготовленной детали заданным размерам, форме и иным характеристикам, вытекающим из служебного назначения данной детали. Можно установить следующие основные признаки точности детали.

- 1) Точность формы, т.е. степень соответствия поверхностей детали тем геометрическим телам, с которыми они отождествляются (цилиндричность, плоскостность, прямолинейность, круглость).
- 2) Точность размеров поверхностей детали, т.е. величина отклонения действительного размера детали от размера, заданного чертежом.
- 3) Точность взаимного расположения поверхностей детали: перпендикулярность поверхностей, параллельность, соосность, симметричность.
- 4) Шероховатость поверхности, т.е. степень соответствия реальной поверхности и идеально гладкой. Шероховатость поверхности определяется высотой микронеровностей.

Трудоёмкость и себестоимость обработки деталей в значительной мере зависят от требуемой точности изготовления и с повышением точности (при прочих равных условиях) увеличиваются. На точность обработки на металлорежущих станках влияют следующие основные факторы.

- 1) Точность технологического оборудования.
- 2) Точность режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки.
- 3) Точность настройки станка на обрабатываемый размер.
- 4) Погрешность базирования и установки обрабатываемой детали на станке.
- 5) Деформации деталей станка, приспособлений, инструмента и заготовки вследствие действия сил резания и закрепления заготовки.
- 6) Тепловые деформации элементов технологической системы.
- 7) Точность измерений.
- 8) Ошибки исполнителя работы.

## § 2.2 Допуски и посадки

Для обеспечения взаимозаменяемости деталей и узлов машин и приборов была разработана и внедрена единая система допусков и посадок (ЕСДП). Эта

система охватывает нормы взаимозаменяемости всех типов соединений и оформляется в виде стандартов, которые обязательны для применения.

Взаимозаменяемость – свойство независимо изготовленных деталей или узлов занимать своё место в узле или машине без дополнительной их обработки при сборке и выполнять свои функции в соответствии с техническими требованиями к работе данного узла или машины. Неполная или частичная взаимозаменяемость определяется подбором или дополнительной обработкой деталей при сборке.

Действительный размер – размер, установленный измерением (с допустимой погрешностью измерения).

Предельный размер – наибольший или наименьший допустимый размер, установленный чертежом детали или узла.

Отклонение – алгебраическая разность между действительным и номинальным размером.

Верхнее и нижнее отклонение – соответственно алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим предельным размером и номинальным размером.

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонением.

Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним отклонением. Поле допуска определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера (нулевой линии).

Основу ЕСДП составляют ряды допусков, называемых квалитетами (табл. 2.1) и ряды основных отклонений, определяющих положение полей допусков относительно нулевой линии. Поля допусков показаны на рис. 2.1. Поле допус-

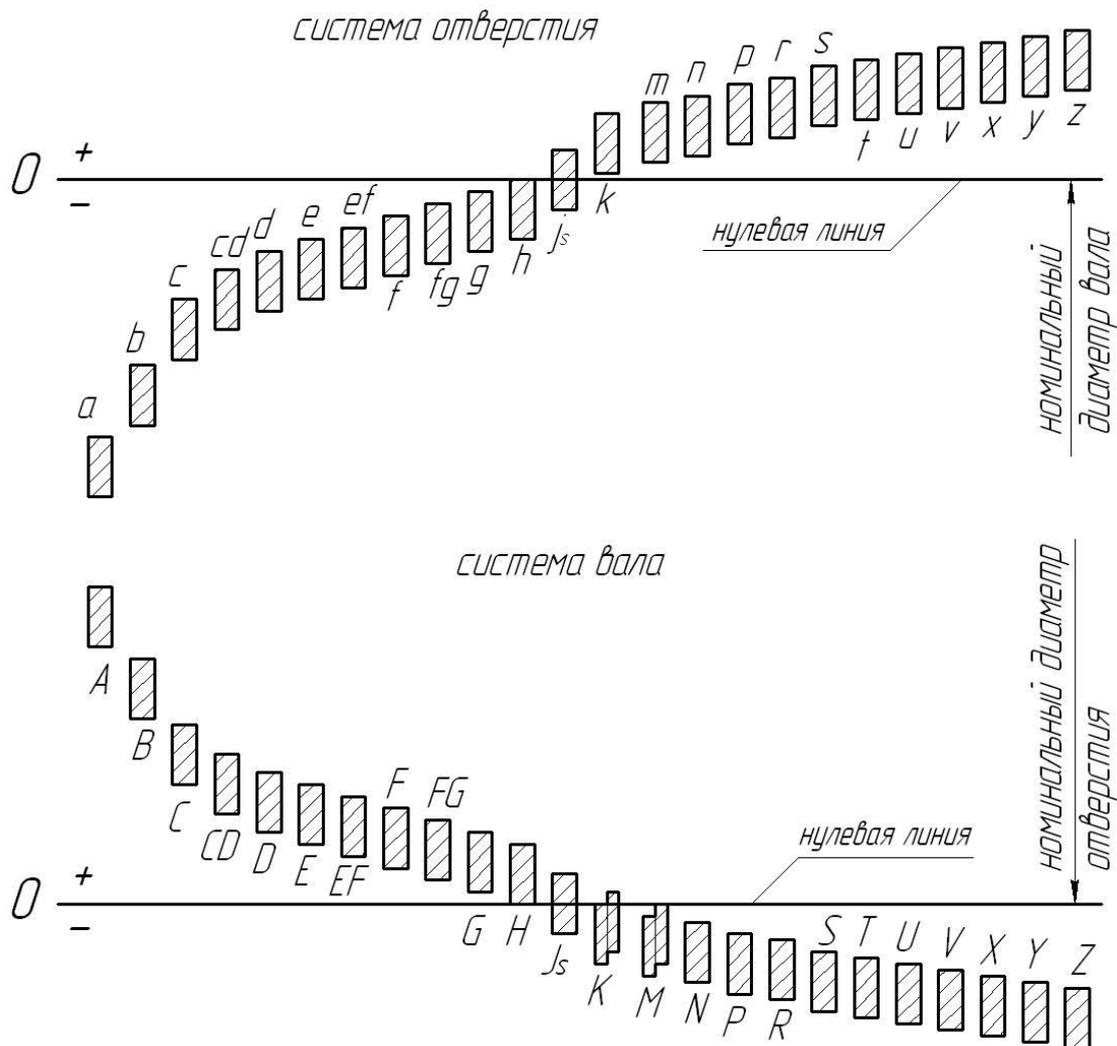


Рис. 2.1 Расположение полей допусков

таблица 2.1. Допуски размеров до 1000 мм

Номинальные размеры, мм	Квалитеты									
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	Допуски, мкм									
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18
6...10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22
10...18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27
18...30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33
30...50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39
50...80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46
80...120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54
120...180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63
180...250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72
250...315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81
315...400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89
400...500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97
500...630	4,5	6	9	11	16	22	30	44	70	110

630...800	5	7	10	13	18	25	35	50	80	125
800...1000	5,5	8	11	15	21	29	40	56	90	140

Продолжение табл. 2.1

Номинальные размеры, мм	Квалитеты									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Допуски, мкм			Допуски, мм						
До 3	25	40	60	0,12	0,14	0,25	0,40	0,60	1,0	
Св. 3 до 6	30	48	75	0,14	0,18	0,30	0,48	0,75	1,2	
6...10	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,5	
10...18	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,1	1,8	
18...30	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	
30...50	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,6	2,5	
50...80	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,9	3,0	
80...120	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,2	3,5	
120...180	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,5	4,0	
180...250	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	
350...315	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,2	5,2	
315...400	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,6	5,7	
400...500	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,0	6,3	
500...630	175	280	440	0,70	1,10	1,75	2,80	4,4	7,0	
630...800	200	320	500	0,80	1,25	2,00	3,20	5,0	8,0	
800...1000	230	360	560	0,90	1,40	2,30	3,60	5,6	9,0	

ка образуется сочетанием основного отклонения (положения поля относительно нулевой линии) и допуска (величины поля). Поле допуска обозначается буквой основного отклонения и числом – номером квалитета. Для обозначения охватываемых размеров применяют строчные латинские буквы, для охватывающих – прописные.

При конструировании деталей машин конструктор указывает на чертеже номинальные размеры детали и точность, которую необходимо обеспечить при изготовлении этой детали: точность размеров, формы, взаимного расположения поверхностей, шероховатость.

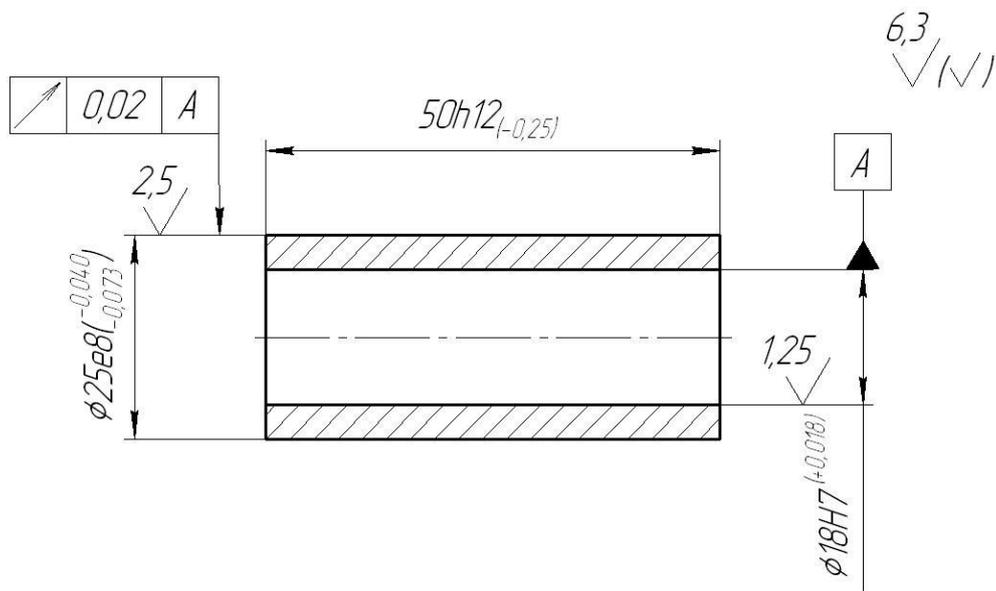


Рис. 2.2 Втулка

Пример 2.1. На рис. 2.2 показана втулка. Показанные на рисунке размеры обозначают следующее. Номинальный наружный диаметр 25 мм, его основное отклонение «*e*», восьмой квалитет, верхнее отклонение диаметра составляет - 0,04 мм, нижнее – -0,073 мм. Это значит, что действительный наружный диаметр втулки должен составлять от 24,927 мм до 24,960 мм, и допуск по восьмому квалитету составляет 0,033 мм (33 микрона). Номинальный диаметр отверстия – 18 мм, его основное отклонение «*H*», седьмой квалитет, верхнее отклонение составляет +0,018 мм, нижнее отклонение – 0 мм (нулевое отклонение на чертежах не указывается). Действительный диаметр отверстия должен составлять от 18,0 мм до 18,018 мм, и допуск по седьмому квалитету составляет 0,018 мм (18 микрон). Номинальная длина втулки – 50 мм, основное отклонение «*h*», двенадцатый квалитет, допуск длины – 0,25 мм, действительная длина втулки – 49,75...50 мм. Также на рисунке указано максимально допустимое радиальное биение наружного диаметра относительно базового отверстия. В таблице на чертеже указывается условное обозначение погрешности, максимальная погрешность (0,02 мм) и базовая поверхность (*A*). На чертеже проставлены обозначения максимальной шероховатости поверхностей: наружной поверхности – 2,5 мкм, отверстия – 1,25 мкм,

остальных – 6,3 мкм. Если действительный размер выйдет за указанные на чертеже отклонения, то деталь будет бракованной.

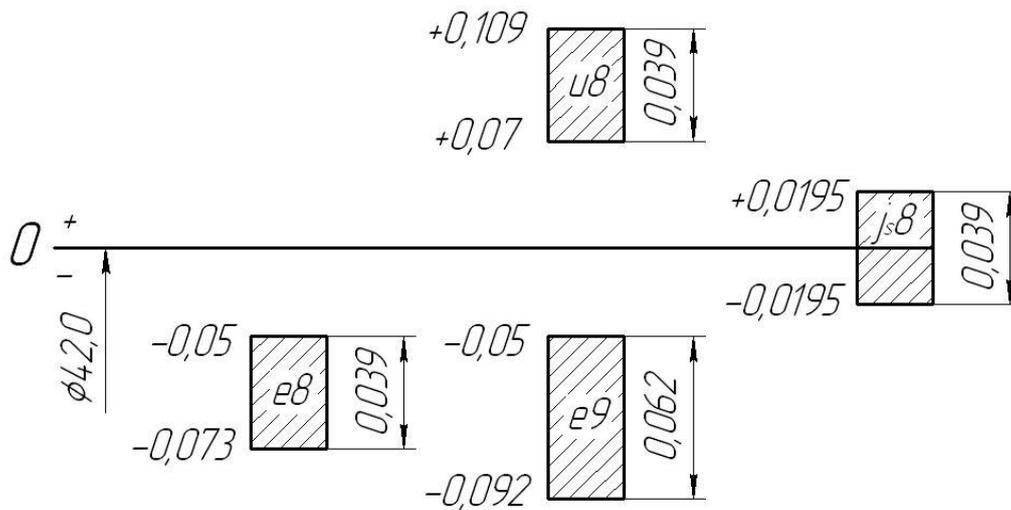


Рис. 2.3 Пример полей допусков размера 42 мм

Пример 2.2. Сравним размеры:  $\varnothing 42e8^{(-0,05)}_{(-0,089)}$ ,  $\varnothing 42e9^{(-0,05)}_{(-0,112)}$ ,  $\varnothing 42u8^{(+0,109)}_{(+0,70)}$  и  $\varnothing 42j_s8(\pm 0,0195)$ . Поля допусков этих размеров показаны на рис. 2.3. Номинальные размеры одинаковы и равны 42,0 мм. Поля допусков «e» расположены одинаково относительно нулевой линии, но их величина различна для разных квалитетов. Допуск размера по восьмому квалитету равен 0,039 (39 микрон), по девятому квалитету – 0,062 мм (62 микрона), т.е. размеры, выполненные по восьмому квалитету более точные, чем по девятому. Поля допусков «e», «u» и «j<sub>s</sub>» занимают различное положение относительно нулевой линии, но для одинаковых квалитетов величина полей одинакова и в данном примере равна 0,039 мм для восьмого квалитета. Действительные размеры, соответственно, равны: 41,911...41,95 мм, 41,888...41,95 мм, 42,07...42,109 мм, 41,9805...42,0195 и попадают в указанные поля допусков.

При соединении двух деталей, изготовленных с определённой точностью, в месте их сопряжения образуется посадка. Существуют посадки с зазором, с натягом и переходные. Посадка с зазором образуется, когда диаметр отверстия больше диаметра вала (охватывающий размер больше охватываемого размера). Поля допусков размеров в этом случае не пересекаются. Посадка с зазором

применяется в неподвижных соединениях при необходимости частой разборки (смены деталей), если необходимо легко передвигать или поворачивать одну деталь относительно другой, для центрирования неподвижно скрепляемых деталей.

Посадка с натягом (прессовая) образуется, когда диаметр вала больше диаметра отверстия. Поля допусков размеров полностью пересекаются. Она применяется для неподвижного соединения деталей, для передачи усилия или крутящего момента за счёт силы трения на контактных поверхностях деталей, для высокоточного центрирования деталей.

В переходной посадке может возникнуть и зазор, и натяг, в зависимости от действительных размеров сопрягаемых деталей. Поля допусков размеров пересекаются частично. Переходные посадки применяются для высокоточного центрирования деталей, когда по условиям эксплуатации возможна разборка соединения для ремонта.

При обозначении посадок на чертежах указывается номинальный размер и поля допусков отверстия – прописная буква и качество, и вала – строчная буква и качество, например:  $\varnothing 50 \frac{H9}{e9}$ ,  $\varnothing 25 \frac{H7}{f6}$  (посадки с зазором),  $\varnothing 25 \frac{H7}{s7}$ ,  $\varnothing 100 \frac{H7}{u6}$  (посадки с натягом),  $\varnothing 25 \frac{H7}{m7}$ ,  $\varnothing 20 \frac{H6}{n6}$  (переходные посадки). Пример посадок показан на рис. 2.4.

Существуют посадки в системе отверстия и в системе вала. Система отверстия – это посадки, в которых предельные отклонения отверстия одинаковы (при одном и том же классе точности и одном и том же номинальном размере),

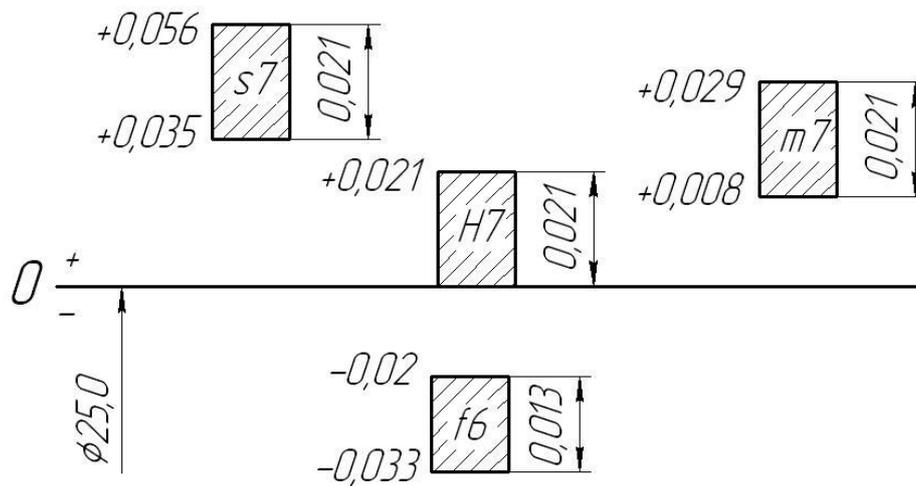


Рис. 2.4 Пример полей допусков различных посадок в системе вала

а различные посадки достигаются путём изменения предельных отклонений валов. На рис. 2.4 показаны посадки в системе отверстия. Система вала – это посадки, в которых предельные отклонения валов одинаковы, а различные посадки достигаются путём изменения предельных отклонений отверстий. Система отверстия является предпочтительной, так как в этом случае сокращается номенклатура мерного инструмента, необходимого для изготовления точных отверстий. Различные поля отклонений валов получить значительно проще, так как в этом случае различные отклонения получаются путём соответствующей настройки инструмента.

### Вопросы для самоконтроля

1. Признаки точности детали.
2. Как влияет на себестоимость детали точность её изготовления? Почему?
3. Какие факторы влияют на точность обработки?
4. Приведите определения: взаимозаменяемость, действительный размер, допуск.
5. Приведите определения: поле допуска, предельный размер, отклонение.
6. Приведите пример полной записи размера на чертеже.
7. В каких случаях деталь признаётся качественной (годной) и бракованной?

8. Характеристики и области применения посадок с зазором.
9. Характеристики и области применения посадок с натягом.
10. Характеристики и области применения переходных посадок.

## Глава 3. Основные сведения о деталях машин

### § 3.1 Критерии работоспособности деталей машин

Проектируемая машина должна удовлетворять различным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями. Эти требования касаются прежде всего производительности машины, мощности и рабочих скоростей, её стоимости – начальной и в эксплуатации, весовых характеристик, желательного (гарантированного) срока службы. В зависимости от служебного назначения машины формулируются дополнительные требования, касающиеся габаритов и возможности транспортировки (например, по железным дорогам, когда важно обеспечить вписывание погруженной на платформы машины в соответствующие габариты и т. д.), степени равномерности вращения, бесшумной работы, простоты и легкости управления, степени автоматизации, технологичности при техническом обслуживании, внешнего вида, экологичности, совместимости с информационными сетями и другие.

В связи с этим к отдельным деталям предъявляются различные требования – прочности, жёсткости, точности, технологичности, виброустойчивости (отсутствия колебаний недопустимой интенсивности), теплостойкости, износостойкости, коррозионной стойкости, минимальной стоимости и т. д.

### § 3.2 Соединения деталей машин

Каждая машина состоит из деталей, число которых исчисляется десятками, сотнями, а нередко и тысячами. Так, например, в автомобиле около 15 тыс. деталей, в токарно-карусельном станке около 20 тыс. деталей, в гидротурбине более 50 тыс. деталей; автоматизированный прокатный стан собирается более чем из 1,5 млн. деталей 400 тысяч наименований.

Чтобы выполнять свои функции в машине, детали соединяются между собой, образуя подвижные и неподвижные соединения. Наличие подвижных соединений определяется кинематикой машины, т.е. движениями, которые совершает машина для выполнения своих функций. Примером может служить соединение поршня и цилиндра в двигателе внутреннего сгорания, зубчатого колеса и зубчатой рейки в рулевом механизме автомобиля. Введение неподвижных соединений вызывается необходимостью разделить машину на узлы и агрегаты, а узлы – на детали и элементы, чтобы облегчить или вообще сделать возможным изготовление машины, ее транспортировку и ремонт.

В машиностроительной практике собственно соединениями называют только неподвижные соединения. При этом существуют соединения разъемные и неразъемные.

Неразъемными называются соединения, не позволяющие разобрать конструкцию без разрушения соединяющихся деталей или соединительных элементов. Неразъемные соединения, как правило, ставятся там, где разделение конструкции диктуется соображениями технологии — возможностью изготовления, удобством или экономичностью изготовления.

Неразъемные соединения можно осуществить: механическими средствами – склепыванием, вальцеванием, посредством посадок с натягом и силами физико-химического сцепления – сваркой, пайкой, склеиванием.

Разъемными называются соединения, которые можно разбирать без разрушения как соединяемых деталей, так и соединительных элементов, и позволяющие производить повторные сборку и разборку. Сюда относятся все виды резьбовых соединений, соединения штифтами и клиньями, а также шпоночные, зубчатые и шлицевые соединения.

Резьбовые соединения. Резьбовыми соединениями называют разъемные соединения деталей с помощью резьбы или резьбовыми крепежными деталями — винтами, болтами, шпильками, гайками.

Резьба образуется путем нанесения на поверхность деталей винтовых канавок с сечением согласно профилю резьбы. Образованные таким образом выступы носят название витков. Термин винт применяют как общий (объединяющий также болты и шпильки) и как частный (винт, вращаемый при завинчивании и отвинчивании, т.е. ввинчивающийся в деталь). Термин винт послужил основой для целого ряда других терминов: винтовое движение, винтовая линия, винтовая поверхность. Термин резьба произошел от технологического процесса ее изготовления – нарезания.

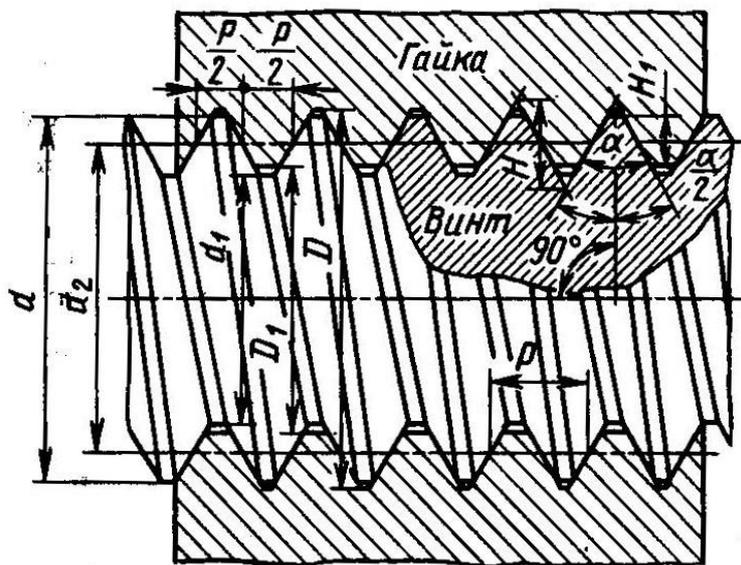


Рис. 3.1 Размерные параметры резьбы

Рассмотрим основные размерные параметры резьбы (рис. 3.1). Диаметры резьбы (винта и гайки): наружный  $d$ ,  $D$ ; средний  $d_2$ ,  $D_2$ ; внутренний  $d_1$ ,  $D_1$ . Диаметры винта, как охватываемой детали, обозначаются малыми буквами, диаметры гайки, как охватывающей детали – большими. Номинальные значения одноимённых диаметров равны; отличие – в допускаемых отклонениях. На поверхности воображаемого цилиндра диаметром  $d_2$  ширины витков и впадин резьбы одинаковы.

*Профиль резьбы* – это профиль выступа и канавки резьбы в плоскости её осевого сечения.

*Шаг резьбы  $P$*  – это расстояние по линии, параллельной оси резьбы между средними точками ближайших одноимённых боковых сторон профиля резьбы, лежащими в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы.

При сборке и разборке резьбового соединения крепежные винты поворачивают или удерживают от поворота соответствующим инструментом (ключом, отверткой) или непосредственно рукой за головку винта.

Термин болт предполагает взаимодействие его с гайкой и наличие головки (рис. 3.2).

Гайка — это деталь с резьбовым отверстием, навинчиваемая на винт и имеющая форму, приспособленную для захвата ключом или рукой.

Резьбовые соединения получили большое распространение в машиностроении. В современных машинах детали, имеющие резьбу, составляют свыше 60% от общего количества деталей. К ним относятся крепежные детали (болты, винты, гайки, шпильки), большинство корпусных деталей, так как они свинчиваются винтами и к ним прикрепляются другие детали; валы в связи с креплением и регулированием подшипников и других деталей; шкивы, зубчатые колеса в связи с необходимостью стопорения и т. д. Широко применяют резьбовые соединения в крановых и строительных металлических конструкциях, так как они облегчают изготовление и сборку. Широкое применение резьбовых соединений определяется:

- 1) универсальностью, простотой и возможностью точного изготовления;
- 2) удобными формами и малыми габаритами;
- 3) возможностью создания больших осевых сил (ввиду клинового действия резьбы, а также большого отношения длины ключа к радиусу резьбы);
- 4) возможностью фиксирования зажима в любом положении благодаря самоторможению.

Пример соединения деталей при помощи болта и гайки показан на рис. 3.2. В соединяемых деталях предварительно изготавливаются гладкие отверстия. При сборке деталей отверстия совмещаются и в них вставляется стержень болта. При навинчивании гайки на болт создаётся значительное

осевое усилие, которое прижимает соединяемые детали друг к другу и таким образом скрепляет их, удерживает от перемещения. На рис. 3.3 показано присоединение детали к корпусу. В детали подготовлено гладкое отверстие, а в корпусе изготовлено резьбовое отверстие. При сборке винт вкручивается в резьбовое отверстие корпуса.

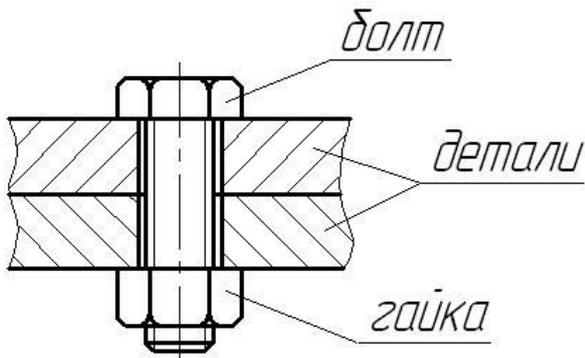


Рис. 3.2 Болт и гайка

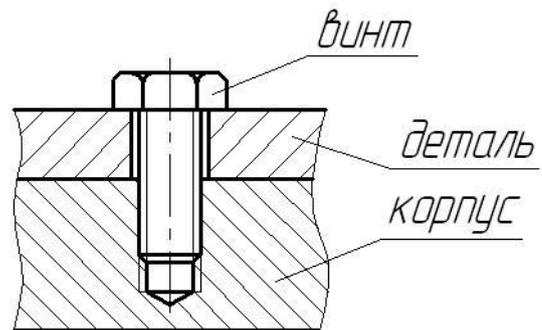


Рис. 3.3 Винт

Заклёпочные соединения – это неразъёмные соединения, выполняемые при помощи соединительного элемента – заклёпки. Заклёпка представляет собой стержень круглого сечения с головками на концах, одну из которых, называемую закладной, выполняют на заготовке заранее, а вторую, называемую замыкающей, формируют при клёпке. Заклёпочные соединения образуют постановкой заклёпок в совмещённые отверстия соединяемых элементов и расклёпкой с осаживанием стержня. Т.е. стержень подвергается пластической деформации, в результате которой формируется замыкающая головка. На рис. 3.4 изображено простейшее заклёпочное соединение с заклёпкой с полукруглыми головками.

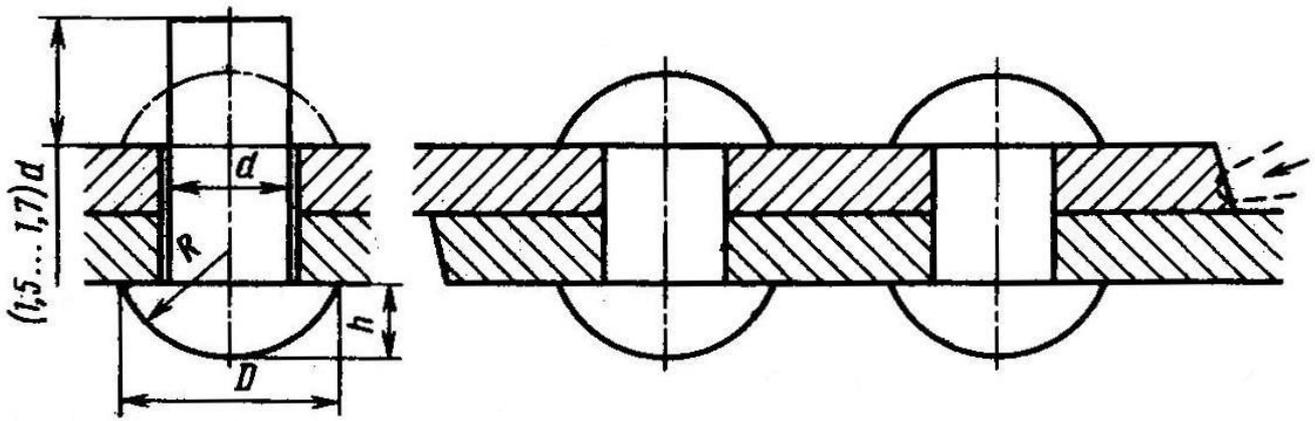


Рис. 3.4 Заклёпочное соединение

В настоящее время область применения заклёпочных соединений ограничена, так как они были вытеснены менее трудоёмкими и более дешёвыми сварными соединениями. Применение заклёпок сузилось с развитием сварки. Заклёпочные соединения применяются в следующих случаях.

- 1) В авиастроении, при изготовлении корпусов (планеров) самолётов. В корпусе пассажирского лайнера применяется около 2,5 млн. заклёпок. Заклёпочное соединение, в отличие от сварного, не боится вибрационной нагрузки, которой подвержены самолёты в полёте. При воздействии вибрационной нагрузки существует опасность разрушения сварного шва вследствие его нестабильной структуры строения. Кроме того, головка заклёпки, в отличие от головки винта или гайки, выступает над деталью на очень небольшую величину и поэтому мало влияет на аэродинамику самолёта. Соответственно, заклёпка легче винта со стержнем такого же диаметра, что имеет большое значение для авиастроения. Т.е. резьбовые соединения также не подходят для сборки корпуса самолёта.
- 2) Соединения несвариваемых материалов, например: металл и пластик, два металла с большой разницей в температурах плавления, пластик и ткань, дерево и резина и т.п.
- 3) Соединения, в которых недопустим нагрев деталей, например: металлы с памятью формы; детали, нагрев которых может вызвать их коробление.

Сварные соединения – это неразъемные соединения, основанные на использовании сил молекулярного сцепления и получаемые путем местного нагрева деталей до расплавленного состояния (сварка плавлением электродуговая, электрошлаковая и др.) или до тестообразного состояния с последующим применением механической силы для сжатия свариваемых деталей (контактная сварка).

Сварные соединения являются наиболее совершенными неразъемными соединениями, так как лучше других приближают составные детали к целым и позволяют изготавливать сварные узлы неограниченных размеров. Прочность сварных соединений при статических и ударных нагрузках доведена до прочности деталей из целого металла. Освоена сварка всех конструкционных сталей, включая высоколегированные, цветных сплавов и пластмасс.

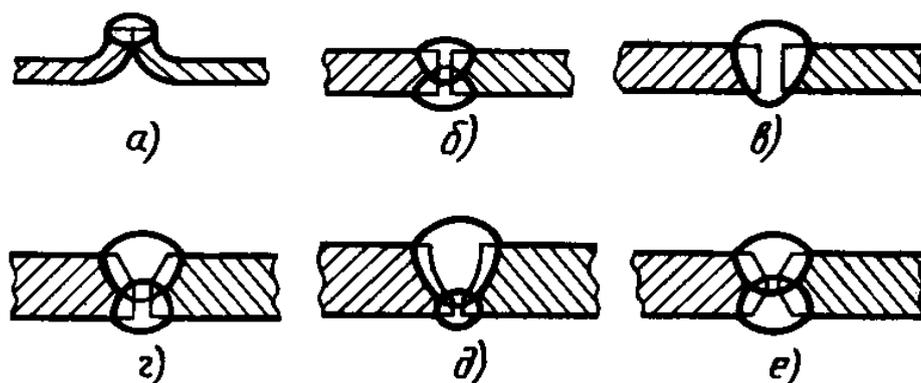


Рис. 3.5 Сварные соединения стыковые

Сварные соединения по взаимному расположению соединяемых элементов можно разделить на следующие группы.

1) Соединения стыковые. Свариваемые детали располагаются в одну линию и стыкуются по торцам. На рис. 3.5 показаны примеры стыковых соединений: а), б) и в) – сварка без разделки кромок; г), д) и е) – сварка с разделкой кромок свариваемых деталей.

2) Соединения нахлесточные. Одна деталь накладывается на другую и производится сварка по контуру их прилегания (рис. 3.6)

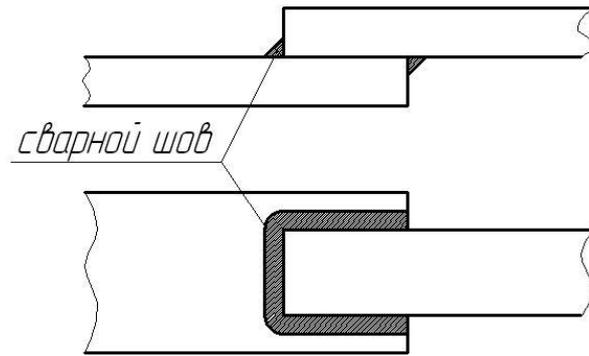


Рис. 3.6 Сварное соединение нахлесточное

3) Соединения тавровые. Соединяемые элементы перпендикулярны или наклонны друг к другу (рис. 3.7).

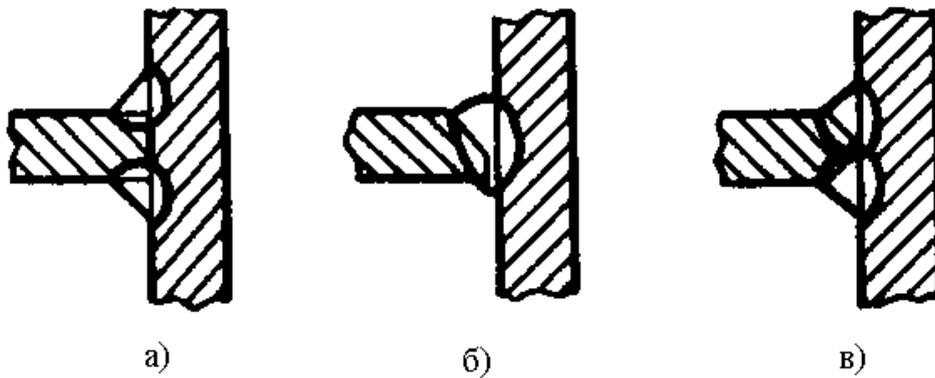


Рис. 3.7 Сварные соединения тавровые

4) Соединения угловые. Соединяемые элементы перпендикулярны или наклонны друг к другу и привариваются по кромкам (рис. 3.8).

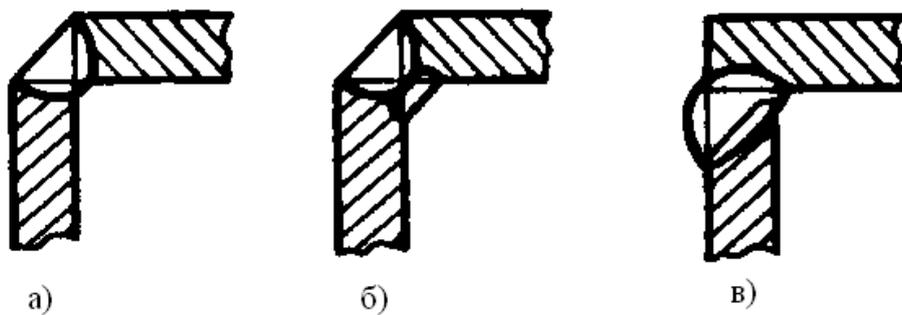


Рис. 3.8 Сварные соединения угловые

Паяные соединения – это неразъёмные соединения, обеспечиваемые силами молекулярного взаимодействия между соединяемыми деталями и припоем. *Припой* – это сплав или металл, вводимый в расплавленном состоянии в зазор между соединяемыми деталями и имеющий более низкую температуру плавления, чем соединяемые детали. Отличие пайки от сварки – отсутствие расплавления или высокотемпературного нагрева соединяемых деталей. Пример паяного соединения показан на рис. 3.9.

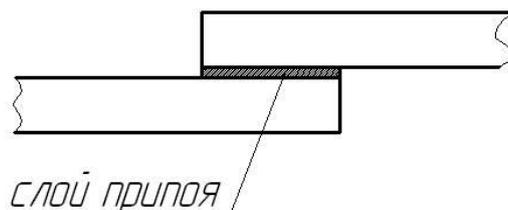


Рис. 3.9 Соединение паяное

Связь в паяном соединении основана на:

- растворении металла деталей в расплавленном припое;
- взаимной диффузии атомов припоя и металла соединяемых деталей;
- силами межатомного притяжения.

Прочность паяного шва существенно выше, чем самого материала припоя, в связи с растворением в слое материала деталей и в связи с тем, что слой находится в стеснённом напряжённом состоянии между соединяемыми деталями.

Процесс пайки состоит из следующих операций: прогрев соединяемых поверхностей, расплавление припоя, растекание припоя и заполнение шва, охлаждение и кристаллизация.

Пайкой соединяют однородные и разнородные материалы: чёрные и цветные металлы, сплавы, керамику, стекло и т.д. Пайкой можно соединять тонкие листы материалов. Она не требует создания дополнительных конструктивных элементов (отверстий, пазов, фланцев и др.) и не увеличивает габаритные размеры соединяемых деталей. Припои должны быть легкоплавкими, хорошо смачивать соединяемые поверхности, обладать достаточно высокой прочностью, пластичностью, непроницаемостью.

Коэффициенты линейного расширения материалов соединяемых деталей и припоев не должны сильно различаться.

Клеевые соединения – это неразъёмные соединения неметаллическим веществом посредством поверхностного схватывания (адгезии) и внутренней межмолекулярной связи (когезии) в клеящем слое. Достоинствами этих соединений являются: возможность соединения деталей из разнородных материалов, соединения тонких листов, пониженная концентрация напряжений и хорошее сопротивление усталости, возможность обеспечения герметичности, уменьшенная масса, возможность получения гладкой поверхности изделия.

Применяют следующие виды клеев. Термореактивные – наносятся на соединяемые детали при обычной температуре, а затвердевают при повышенной температуре. Термопластичные – при повышенной температуре расплавляются, становятся вязкими и в таком состоянии наносятся на соединяемые детали, а при снижении температуры затвердевают. Эластомеры – застывают при нормальной температуре на воздухе.

### § 3.3 Механические передачи

Механическими передачами называются механизмы для передачи энергии от двигателя к исполнительным механизмам машины. Передача осуществляется с преобразованием скоростей, сил, моментов, направления, характера или закона движения. Необходимость введения передачи между двигателем и исполнительным механизмом машины вызывается многими причинами:

- а) требуемые скорости движения исполнительных механизмов машины очень часто отличаются от скоростей двигателей;
- б) скорость исполнительного механизма часто бывает необходимо изменять (регулировать), между тем осуществить это непосредственно двигателем бывает неэкономично или даже невозможно;

- в) для привода исполнительных механизмов требуются крутящие моменты или усилия, превышающие крутящий момент на валу двигателя;
- г) нередко одним двигателем бывает необходимо приводить в движение несколько исполнительных механизмов с различными скоростями;
- д) стандартные двигатели обычно предназначаются для равномерного вращательного движения, между тем исполнительные механизмы машины зачастую должны двигаться прямолинейно, с изменяющейся скоростью или с периодическими остановками;
- е) иногда непосредственное соединение валов двигателя и исполнительного механизма нельзя осуществить по соображениям безопасности, удобства обслуживания или из-за заданных габаритов машины.

Механические передачи по способу передачи движения от ведущего элемента ведомому разделяются на:

- 1) передачи трением: с непосредственным касанием (фрикционные) или с гибкой связью (ременные);
- 2) передачи зацеплением: с непосредственным контактом (зубчатые и червячные) или с гибкой связью (цепные).

Табл. 3.1. Свойства приводов и передач различных типов

Различные свойства	Приводы			Механические передачи	
	электрический	гидравлический	пневматический	трением	зацеплением
Централизованное снабжение энергией	+		+		
Простота передачи энергии на значительные расстояния	+				
Легко осуществимое аккумулирование энергии			+		
Ступенчатое регулирование скорости в широком диапазоне	+			+	+
Бесступенчатое регулирование в широком диапазоне	+	+		+	
Точное сохранение передаточного числа					+
Возможность высоких скоростей вращения	+		+		
Простота исполнительного механизма для прямолинейного движения		+	+	+	+

Независимость действия от температуры окружающей среды	+		+		+
Большие практически достижимые давления на рабочие органы		+			+
Возможность автоматического и дистанционного управления	+				

До недавнего времени механические передачи являлись почти единственным устройством, применявшимся в машинах во всех перечисленных выше случаях. Важнейшей чертой современного машиностроения является широкое применение для этих целей, наряду с механическими передачами, также и приводов — электрических, гидравлических, пневматических (вакуумных). Часто в одной машине для привода различных механизмов одновременно используются как механические передачи, так и различные типы приводов. Сравнительные достоинства этих передач и приводов указаны в табл. 3.1, которая может служить лишь для общей ориентировки.

Основной характеристикой механических передач является передаточное число. Оно показывает во сколько раз изменяется частота вращения и крутящий момент при применении передачи. Чаще применяются понижающие передачи, которые уменьшают частоту вращения и увеличивают крутящий момент.

Фрикционные передачи. Простейшие передачи этого вида состоят из двух колёс (катков) – ведущего и ведомого (рис. 3.10), которые прижимаются своими рабочими поверхностями друг к другу настолько, чтобы сила трения, развившаяся в результате этого нажатия, была равно величине передаваемого окружного усилия.

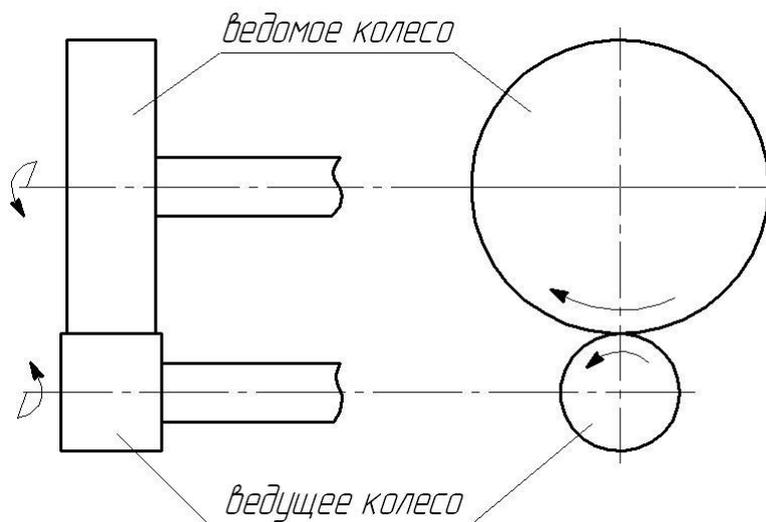


Рис. 3.10 Фрикционная передача

Достоинства фрикционных передач – простота конструкции и малозумность работы, недостатки – значительные давления на валы и опоры, а также непостоянство передаточного числа, возникающее вследствие некоторого проскальзывания колёс и имеющее место даже при тщательном изготовлении и монтаже элементов привода. Передачи этого типа могут встраиваться в кинематические цепи различных машин и приборов и выполняться в виде отдельных закрытых в специальный корпус приводов. С применением фрикционной передачи также изготавливают специальные механизмы для плавного, бесступенчатого регулирования скорости вращения – вариаторы. Только фрикционная передача позволяет производить бесступенчатое регулирование скорости вращения.

Для фрикционных передач передаточное число определяется по формуле:

$$U = \frac{d_2 \cdot \zeta}{d_1}; \quad (3.1)$$

где  $U$  – передаточное число;

$d_1$  – диаметр ведущего колеса;

$d_2$  – диаметр ведомого колеса;

$\zeta$  – коэффициент, учитывающий проскальзывание в передаче ( $\zeta \approx 0,95 \dots 0,995$ ).

Если ведущее колесо получает вращение от двигателя и вращается с частотой  $n_1$ , то частота вращения ведомого колеса составит:  $n_2 = n_1 / U$ . Если диаметр

ведомого колеса больше ведущего, то частота вращения будет снижаться. Одновременно будет повышаться крутящий момент (в  $U$  раз) на ведомом колесе.

Ременные передачи. Ременная передача состоит из ведущего и ведомого шкивов и ремня, надетого на шкивы с натяжением и передающего окружную силу с помощью трения, возникающей в контакте ремня и шкива (рис. 3.11). Возможны передачи с двумя или несколькими ведомыми шкивами.

Ремни выполняют с сечением в виде прямоугольника – плоские ремни (рис. 3.11 а); с сечением в виде трапеции – клиновые ремни и поликлиновые ремни (рис. 3.11 б, в); круглого сечения – круглые ремни (рис. 3.11 г) и зубчатые ремни (рис. 3.11 д), на внутренней поверхности которых имеются зубья.

Основное применение ременные передачи имеют:

– для привода технологического оборудования от электродвигателей небольшой и средней мощности;

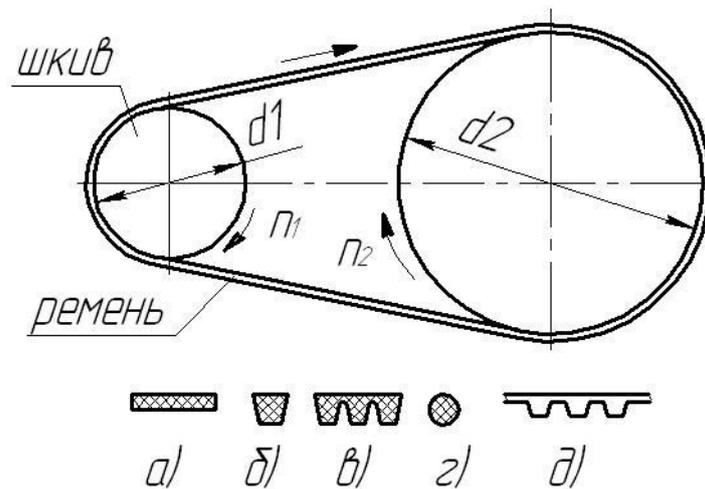


Рис. 3.11 Ременная передача

– для привода от двигателей внутреннего сгорания электрических генераторов, насосов и других машин.

Передаточное число ременной передачи определяется по формуле (3.2):

$$U = \frac{d_2 \cdot \zeta}{d_1}; \quad (3.2)$$

где  $d_1, d_2$  – диаметры ведущего и ведомого шкива.

Наибольшее распространение в машиностроении имеют плоские и клиновые ремни. Плоскоременная передача отличается простотой конструкции и малой стоимостью. Клиноремённая передача имеет более сложную конструкцию, так как на шкивах должны быть изготовлены канавки соответствующего профиля, называемые ручьями. Клиноремённая передача отличается меньшим проскальзыванием. Зубчатые ремни используют благодаря тому, что в такой передаче передаточное число остаётся постоянным, так как полностью отсутствует проскальзывание, поэтому, эти передачи используются в кинематических цепях, требующих постоянного передаточного числа. Зубья ремня входят в зацепление с зубьями шкива, вследствие чего проскальзывание не допускается. Но шкивы передачи с зубчатыми ремнями отличаются сложностью конструкции. Ремни круглого сечения используются для передачи малой мощности, например, в бытовой технике.

Достоинства ременных передач: а) возможность передачи движения на значительное расстояние; б) плавность работы, малошумность; в) возможность работы на высоких частотах вращения; г) малая стоимость.

Недостатки ременных передач: а) большие габариты; б) некоторое проскальзывание ремня (кроме зубчатых); в) необходимость включать в конструкцию передачи устройств для натяжения ремня; г) малая долговечность ремней при воздействии повышенной температуры, масла и других разрушающих факторов.

Цепные передачи. Цепная передача состоит из ведущей и ведомой звёздочек и цепи, охватывающей звёздочки и зацепляющейся за их зубья (рис. 3.12). Цепь состоит из соединённых шарнирами звеньев, которые обеспечивают подвижность или гибкость цепи. Цепные передачи используют в сельскохозяйственных и транспортных машинах, нефтебуровом оборудовании,

мотоциклах, велосипедах, автомобилях. Передаточное число цепной передачи определяется по формуле:

$$U = \frac{z_2}{z_1}; \quad (3.3)$$

где  $z_1, z_2$  – число зубьев ведущей и ведомой звёздочки.

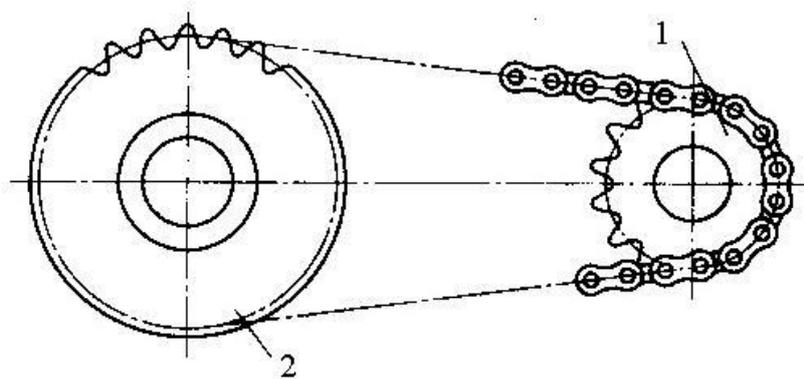


Рис. 3.12 Цепная передача

К достоинствам цепных передач относят: а) возможность передачи движения на значительное расстояние; б) меньшие, чем у ременных передач габариты; в) отсутствие скольжения; г) высокий коэффициент полезного действия; д) возможность передачи движения нескольким звёздочкам.

Вместе с тем цепные передачи не лишены некоторых недостатков: а) необходимость включать в конструкцию передачи устройств для натяжения цепи; б) достаточно высокий уровень шума передачи; в) более сложная, по сравнению со шкивами, конструкция звёздочек; д) более высокая стоимость по сравнению с ременной передачей.

Зубчатые передачи. В машиностроении широко применяются различные зубчатые передачи. Они служат для передачи движения от двигателя (электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания, пневмодвигателя) к исполнительному механизму. При этом может изменяться направление движения, частота вращения, крутящий момент.

На рис. 3.13 показаны примеры зубчатых передач. Существуют передачи с параллельными осями вращения. К ним относятся цилиндрическая прямозубая (а), цилиндрическая косозубая (б), передача с шевронным зубом (в) и передача с внутренним зацеплением (г). Основными деталями цилиндрической зубчатой передачи являются два зубчатых колеса – ведущее и ведомое, которые входят в зацепление друг с другом.

Передачи с пересекающимися осями вращения. К ним относятся коническая прямозубая (д) передача, коническая передача с тангенциальным зубом (е) и коническая передача с круговым зубом (ж). У конической круговой передачи зуб направлен по дуге окружности. Основными деталями конической зубчатой передачи являются два конических зубчатых колеса – ведущее и ведомое, которые входят в зацепление друг с другом. Чаще оси вращения пересекаются под углом  $90^\circ$ , но может быть и другой угол.

Передачи с перекрещивающимися осями вращения. К ним относятся передача с винтовым зубом (з) и червячная передача (и). Винтовая передача состоит из двух зубчатых колёс с винтовым зубом. Червячная передача состоит из червяка, т.е. винта с трапециидальной или близкой к ней по форме резьбой, и

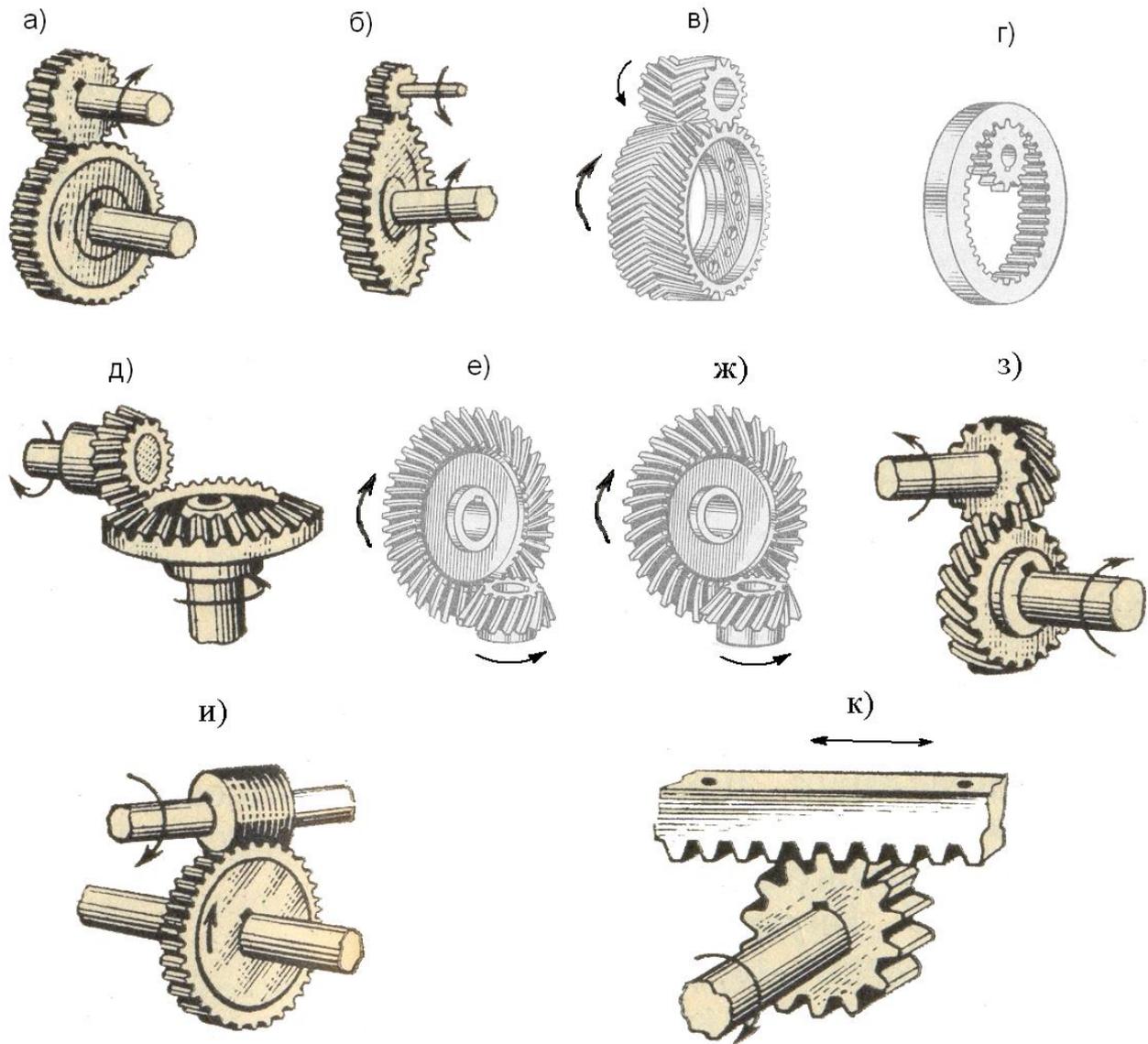


Рис. 3.13 Зубчатые передачи

и червячного колеса, т.е. зубчатого колеса с зубьями специальной формы. Витки червяка входят в зацепление с зубьями червячного колеса. Червячная передача отличается большим передаточным числом и самоторможением передачи.

Зубчатая передача для преобразования вращательного движения зубчатого колеса в поступательное движение зубчатой рейки и наоборот. Это реечная передача (к).

Зубчатые передачи в сравнении с другими механическими передачами обладают существенными достоинствами: а) малыми габаритами; б) высоким КПД; в) большой надёжностью в работе; г) постоянством передаточного

отношения из-за отсутствия проскальзывания; д) возможностью применения в широком диапазоне скоростей и передаточных отношений. К недостатку может быть отнесено требование высокой точности изготовления и, соответственно, более высокой стоимости.

Передаточное число зубчатой передачи определяется по формуле:

$$U = \frac{z_2}{z_1}; \quad (3.3)$$

где  $z_1, z_2$  – число зубьев ведущего и ведомого зубчатого колеса.

Зубчатые передачи применяются во всех типах машин: транспортных, энергетических машинах, технологическом оборудовании, в сельскохозяйственной технике, в приборах, в авиации и др. Примером может служить коробка передач автомобиля, входной вал которой получает вращение от двигателя внутреннего сгорания. Вводя в зацепление, при помощи рычага переключения передач, различные пары зубчатых колёс, можно получать различные передаточные числа и, соответственно, менять скорость или направление движения автомобиля. Из коробки передач преобразованное движение передаётся к колёсам, например, в автомобиле ВАЗ2110 через шарниры равных угловых скоростей.

В токарном станке модели 16К20 коробка скоростей получает вращение через клиноремённую передачу от электродвигателя, который имеет постоянную скорость вращения около 3000 об/мин. В коробке скоростей применяются зубчатые цилиндрические передачи. Управляя ей с помощью рукояток управления, можно получать частоту вращения шпинделя станка от 12,5 до 2000 об/мин.

Одним из самых распространённых механизмов с применением зубчатых передач является редуктор – механизм, служащий для понижения скорости вращения и увеличения крутящих моментов и выполненный в виде отдельного агрегата. В отличие от коробки скоростей, редуктор не управляется, т.е. пары зубчатых колёс, находящихся в зацеплении, остаются постоянными. Соответственно, передаточное число редуктора остаётся постоянным. Входной

вал редуктора получает вращение от двигателя и передаёт преобразованное движение



Рис. 3.14 Редуктор

к исполнительным механизмам или дальше по кинематической цепи. Редукторы различаются по числу ступеней (т.е. количество пар зубчатых зацеплений): одно-, двух-, трёхступенчатые; по типу зубчатой передачи: цилиндрические, конические, червячные, коническо-цилиндрические, червячно-цилиндрические и др. На рис. 3.14 показан пример двухступенчатого редуктора с цилиндрической косозубой передачей.

Передача винт-гайка. Назначение передачи винт-гайка – преобразование вращательного движения в поступательное. Преобразование осуществляется при помощи винтовой линии резьбы. Одна из деталей передачи (это может быть и винт, и гайка) получает вращение от внешнего привода: двигателя или ручного привода. За один полный оборот гайки или винта вторая деталь перемещается поступательно на один шаг винтовой линии. Передачи винт-гайка делятся на передачи скольжения, где гайка контактирует непосредственно с винтом, и передачи качения, где между винтом и гайкой, в винтовых канавках, расположены тела качения – шарики. Передача винт-гайка обеспечивает большой коэффициент усиления, возможность получения

медленного движения и точных перемещений, большую несущую способность при малых габаритах; передача скольжения отличается простотой конструкции и изготовления.

К недостаткам передач скольжения следует отнести большие потери на трение и низкий КПД, а поэтому невозможность применения при больших скоростях перемещений. Скорость скольжения в резьбе больше скорости осевого перемещения в  $1/\sin\psi$  раз, где  $\psi$  – угол подъема витков резьбы, т.е. в 10...40 раз. В передаче качения потери на трение качения невелики, она имеет высокий КПД, около 0,9. Но передача качения отличается сложностью конструкции, требованием высокой точности изготовления и, соответственно, сложностью изготовления и высокой стоимостью.

Наиболее характерные области применения передачи винт-гайка: а) поднятие грузов (в домкратах); б) осуществление точных перемещений в технологическом оборудовании; в) установочные перемещения для настройки и регулирования машин; г) создание больших усилий в технологическом оборудовании, например, в винтовом прессе; д) создание требуемого усилия в испытательных машинах.

### § 3.4 Валы и оси

Вращающиеся детали машин устанавливаются на валах или осях, обеспечивающих постоянное положение оси вращения этих деталей. Ось предназначается лишь для поддержания вращающихся деталей. Она может быть неподвижной или вращаться вместе с установленной на ней деталью. Валы, в отличие от осей, не только поддерживают вращающиеся детали, но и передают крутящий момент вдоль своей геометрической оси.

Существуют различные типы конструкций валов: а) гладкий вал (рис. 3.15 а); ступенчатый вал (рис. 3.15 б, в); шпиндель станка (рис. 3.15 г); коленчатый вал (рис. 3.15 д); ось вращающаяся вагонная (3.15 е); ось невращающаяся (рис. 3.15 ж). Вал или ось входит в состав практически любой

машины. Коленчатый вал, кроме передачи крутящего момента, предназначен для преобразования поступательного движения во вращательное и наоборот.

### Коленчатые валы

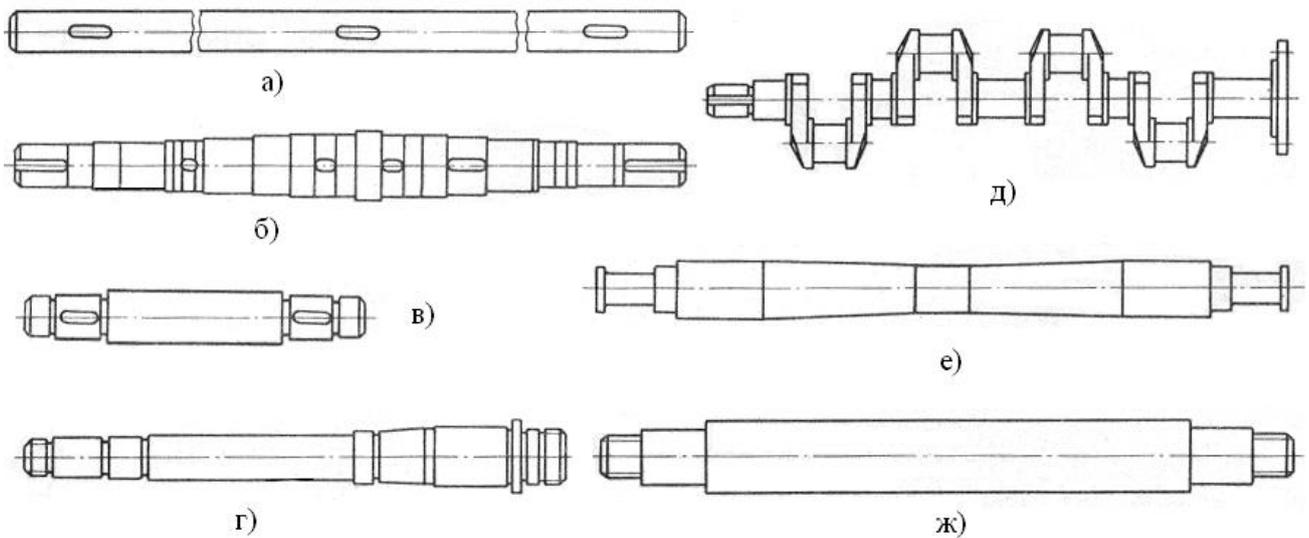


Рис. 3.15 Валы и оси

применяются в поршневых двигателях внутреннего сгорания, в поршневых компрессорах, насосах, в технологическом оборудовании.

В составе механизмов валы монтируются на специальных опорах, которые называются подшипниками. Назначение подшипников – поддерживать вращающиеся валы и оси в пространстве, обеспечивая им возможность вращения или качания, и воспринимать действующие на них нагрузки. Подшипники могут также поддерживать детали, вращающиеся вокруг неподвижных осей. По виду трения подшипники разделяют на подшипники качения и скольжения.

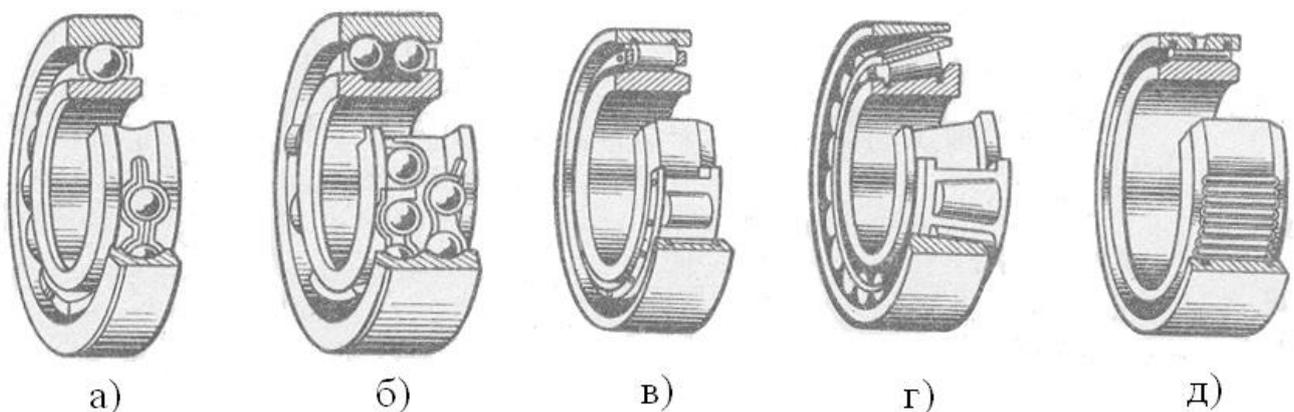


Рис. 3.16 Подшипники качения

В конструкции подшипника качения (рис. 3.16) используются элементы качения – шарики или ролики. Он состоит из наружного и внутреннего кольца с дорожками качения, тел качения (шариков или роликов), закладываемых между кольцами, и сепаратора, разделяющего тела качения. При работе одно из колец подшипника остаётся неподвижным, а второе вращается вместе с вращающейся деталью. При этом тела качения катятся по поверхностям колец в дорожках качения. На рис. 3.16 показаны: а) – шариковый подшипник однорядный, б) – шариковый подшипник двухрядный, в) – роликовый подшипник, г) – роликоконический радиально-упорный подшипник, в) – игольчатый подшипник.

Преимуществами подшипников качения являются: малая сила трения, большая несущая способность, невысокие требования по уходу и смазыванию. К недостаткам следует отнести повышенные габариты подшипниковых узлов, невозможность изготавливать подшипник разъемным и повышенный шум при высоких частотах вращения вала.

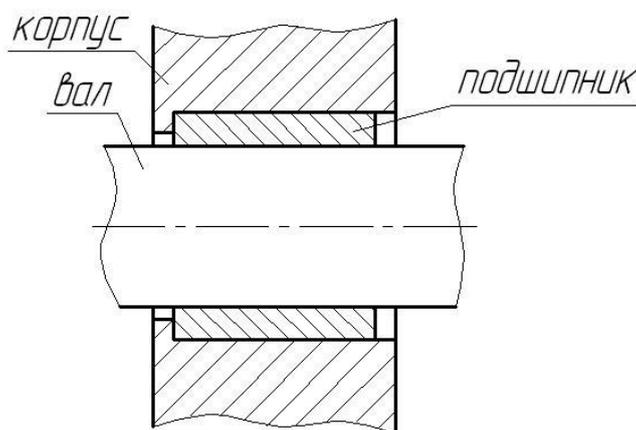


Рис. 3.17 Подшипник скольжения

Подшипники скольжения – это опоры вращающихся деталей, работающие в условиях трения скольжения между поверхностями детали и подшипника. Конструктивно подшипник скольжения представляет собой втулку (рис. 3.17), наружная поверхность которой базируется в корпусе, а

внутренняя является поверхностью скольжения. В зоне трения должна быть интенсивная смазка.

Подшипники скольжения в современном машиностроении применяются значительно меньше, чем подшипники качения, так как имеют очевидный недостаток – значительно более высокую силу трения в контакте. Однако они сохранили некоторые важнейшие области, где имеют преимущественное применение.

- 1) Подшипники, которые по условиям сборки необходимо делать разъемными, например, для коленчатых валов. Подшипник скольжения может быть изготовлен разъемным, в виде двух полуколец.
- 2) Подшипники, требующие очень малых диаметральных размеров, например, для близко расположенных валов.
- 3) Подшипники для особо точного и равномерного вращения и поворота.
- 4) Подшипники для особо высоких частот вращения.
- 5) Кроме того, подшипники скольжения применяют в тихоходных и малоответственных механизмах вследствие их дешевизны.

Для передачи крутящего момента от вала к установленной на нём детали и наоборот применяют шпоночное или шлицевое соединение. Шпоночное соединение показано на рис. 3.18. Шпонка – это деталь, устанавливаемая в пазах двух соприкасающихся деталей и препятствующая относительно повороту или сдвигу этих деталей. Таким образом, детали, соединённые при помощи шпоночного соединения, могут вращаться только совместно, т.е. происходит передача крутящего момента.

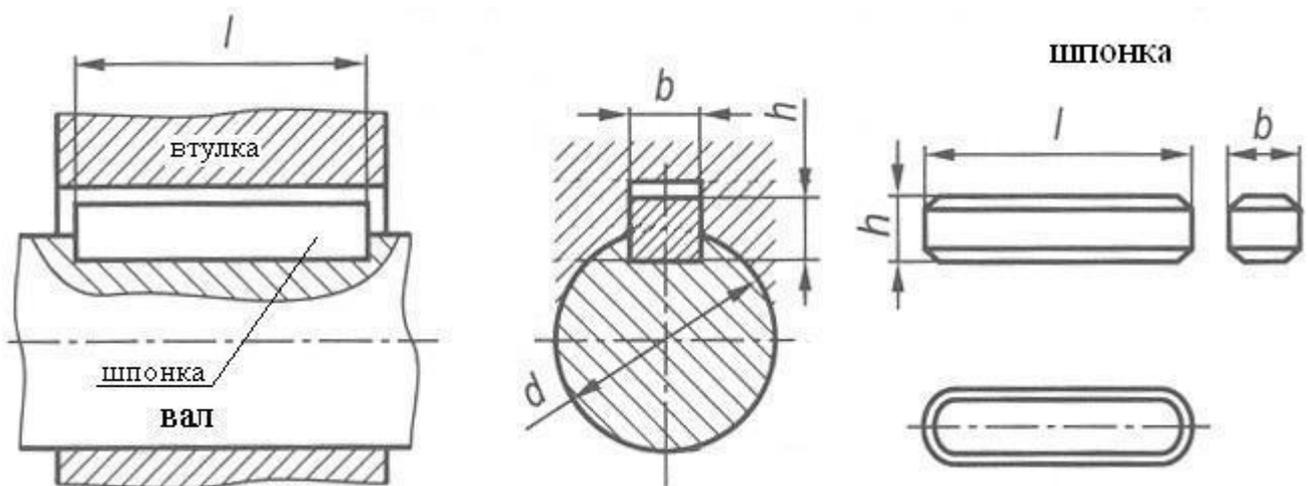


Рис. 3.18 Шпоночное соединение

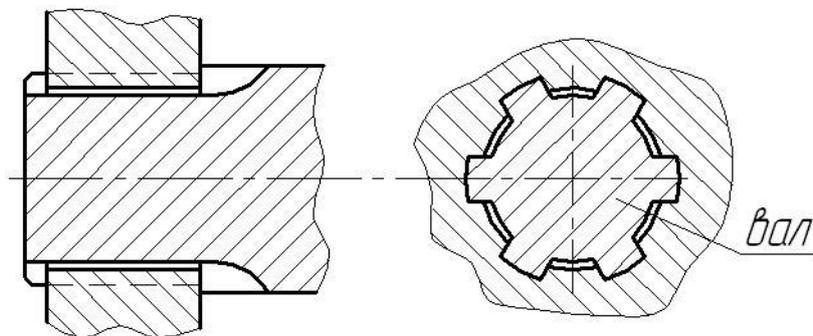


Рис. 3.19 Шлицевое соединение

Шлицевое соединение представляет собой соединение, образуемое выступами на валу, входящими в соответствующие впадины на присоединённой к валу детали. Эти выступы и впадины называются шлицами. Шлицы, в отличие от шпонки, являются не отдельными деталями, а конструктивными элементами соединяемых деталей. Шлицевое соединение показано на рис. 3.19. Оно обладает значительно большей нагрузочной способностью, чем шпоночное соединение.

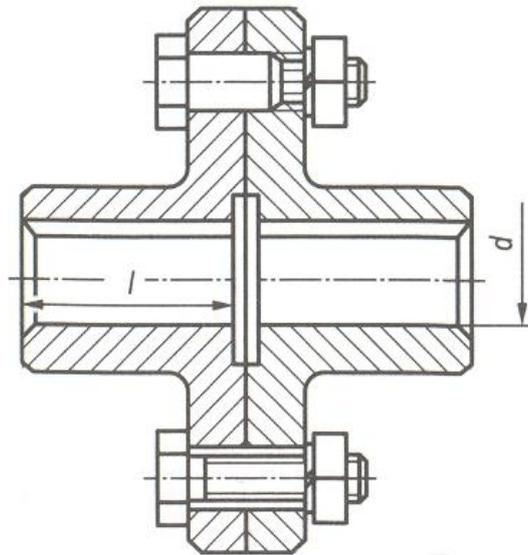


Рис. 3.20 Муфта постоянная глухая

Для соединения валов, расположенных вдоль одной оси, а также валов с пересекающимися осями, служат муфты. В современном машиностроении муфты необходимы почти во всех машинах. Например, для соединения валов турбины и генератора, двигателя и редуктора, валов отдельных узлов и агрегатов; для управления машинами – плавный или мгновенный пуск, остановка, переключение скоростей, реверсирование; предохранение от перегрузки, создание тарированного крутящего момента, «разноса» или обратного вращения – все эти и многие другие функции выполняются в современных машинах муфтами. Широким применением муфт объясняется огромное разнообразие известных типов муфт и непрерывное появление новых конструкций. На рис. 3.20 показана постоянная глухая муфта.

По своему основному назначению муфты разделяются на постоянные и сцепные. Назначением постоянных муфт является постоянное соединение валов (без их разобщения); назначением вторых – сцепление и расцепление валов в зависимости от выполняемой задачи, т.е. управление машиной.

#### Вопросы для самоконтроля

1) С какой целью в машинах применяются механические передачи?

- 2) Назовите передачи трением? Передачи зацеплением?
- 3) Что такое передаточное число передачи? Как оно определяется?
- 4) Назовите виды ременных передач? Их преимущества?
- 6) Назовите виды зубчатых передач и их назначение?
- 7) Приведите примеры механизмов с зубчатыми передачами?
- 8) Назначение и преимущества передачи винт-гайка?
- 9) Виды неразъёмных соединений деталей? Разъёмных?
- 10) Как образуется резьбовое соединение? Его элементы?
- 11) Как образуется сварное соединение? Виды сварки?
- 12) Каково назначение детали вал? Ось?
- 13) Два вида подшипников? Назначение подшипников?
- 14) Конструкция и элементы подшипника качения? Его преимущества?
- 15) Каковы преимущества подшипника скольжения? Недостатки?
- 16) Передача крутящего момента от вала к поддерживаемой детали?
- 17) Назначение муфт в машинах?

#### **Глава 4. Методы обработки типовых поверхностей**

##### **§ 4.1 Токарная обработка**

Токарная обработка, также называемая точением, является самым распространённым методом обработки деталей типа тел вращения. Обработка ведётся на токарных станках. Инструмент называется токарный резец. При всех видах точения заготовка совершает вращательное движение, являющееся основным, а резец совершает поступательное перемещение, называемое движением подачи.

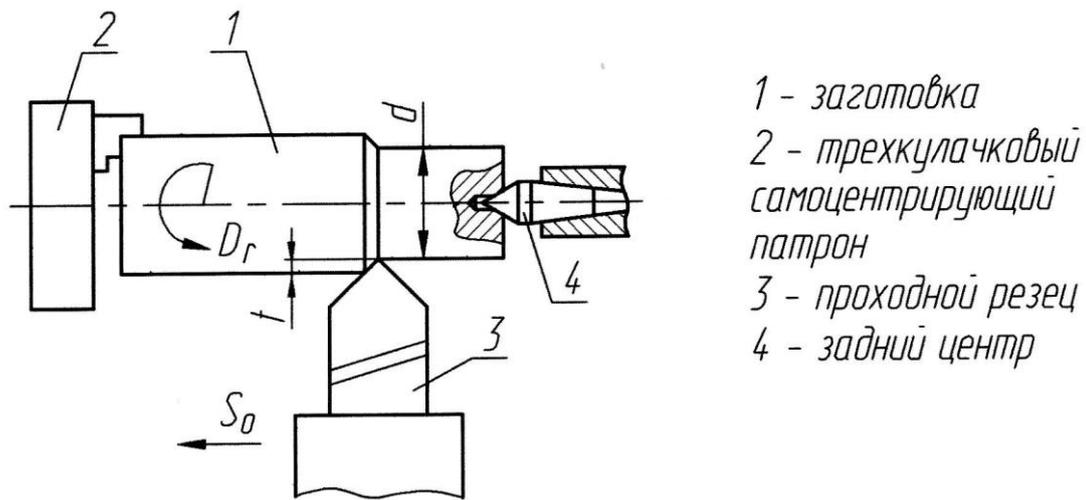


Рис. 4.1 Наружное продольное точение

Наружное продольное точение. При этом виде точения выполняется обработка наружных цилиндрических поверхностей. Схема показана на рис. 4.1. Заготовка совершает вращательное движение  $D_r$ , а резец прямолинейное поступательное перемещение вдоль оси вращения заготовки – движение продольной подачи  $S_0$ .  $d$  – операционный размер заготовки.  $t$  – припуск. Для проведения обработки вершина резца настраивается на операционный размер  $d$ .

Подрезание торцев, прорезание канавок, отрезание. При этом виде точения производят подрезание торцев (рис. 4.2а), прорезание канавок (рис. 4.2б), отрезание заготовок. Заготовка совершает вращательное движение  $D_r$ , а резец – прямолинейное поступательное перемещение – движение поперечной подачи  $S_0$ , перпендикулярно оси вращения заготовки. Операционным размером в этом случае является длина заготовки  $L$ . Припуск  $t$  снимается с торца заготовки. Ширина канавки  $h$  будет равна ширине резца. При отрезании заготовки резец совершает движение подачи до отделения от исходного прутка заготовки требуемой длины.

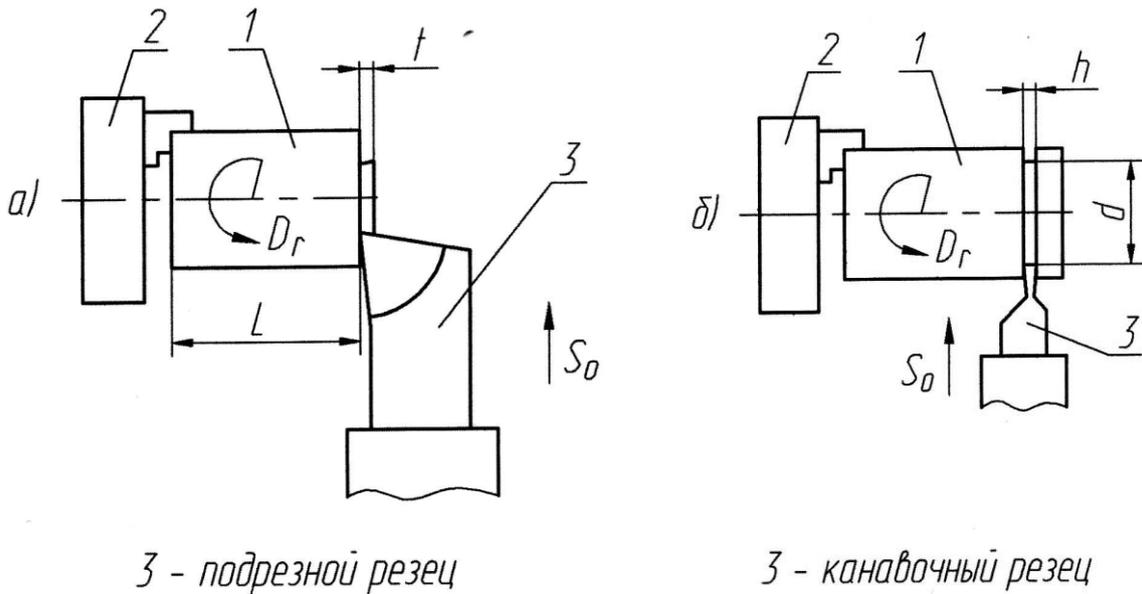


Рис. 4.2 Подрезание торцов, прорезание канавки

Растачивание отверстий. При этом виде точения производится обработка отверстий в заготовках. Схема процесса показана на рис. 4.3. Заготовка 1 закрепляется в самоцентрирующем патроне 2 и совершает вращательное движение  $D_r$ . Инструмент – расточной резец 3. Он настраивается на операционный размер  $D$  и совершает прямолинейное движение продольной подачи  $S_0$  вдоль оси заготовки. Припуск  $t$  снимается со стенок отверстия. Диаметр обрабатываемого отверстия при этом увеличивается. В отверстиях также могут быть изготовлены различные канавки. Для этого используются внутренние канавочные резцы.

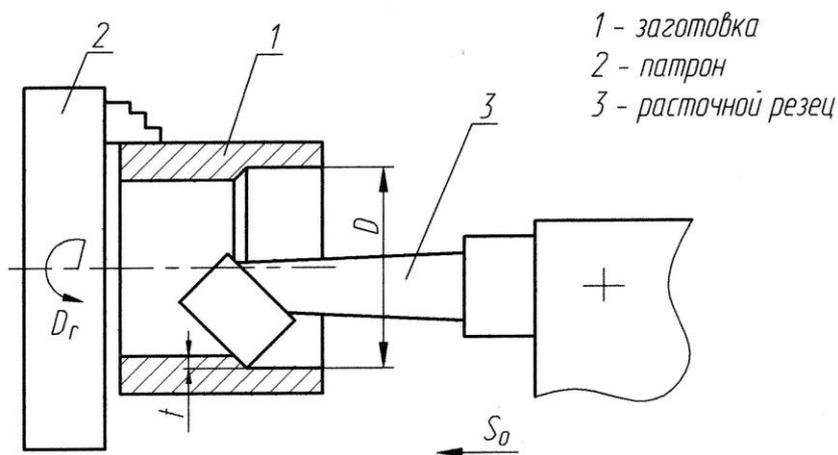


Рис. 4.3 Растачивание отверстия

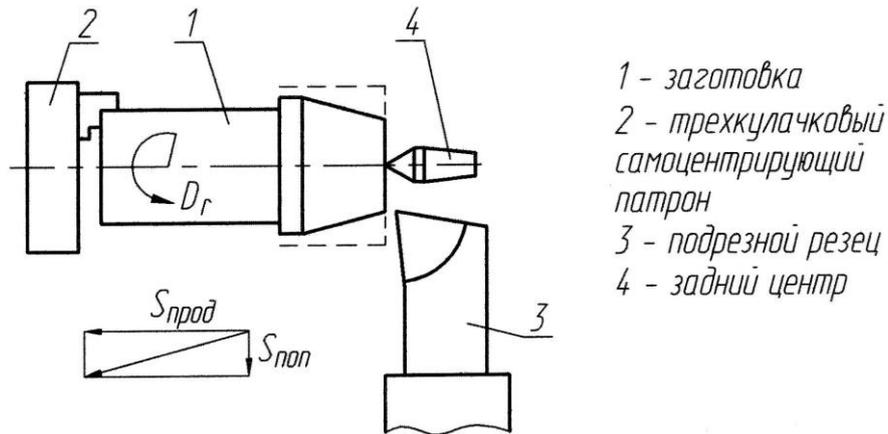


Рис. 4.4 Точение конической поверхности

Фасонное точение. При этом виде точения производится обработка поверхностей сложной конфигурации: конических, сферических, ступенчатых, криволинейных. В этом случае обработка осуществляется при одновременном перемещении резца в продольном и поперечном направлениях (рис 4.4). Фасонное точение может производиться по копиру, контур которого соответствует контуру поверхности, которую необходимо изготовить. Также фасонное точение удобно производить на станках с числовым программным управлением. В этом случае резец перемещается по траектории, задаваемой управляющей программой. Также существует фасонное точение специальным фасонным резцом (рис. 4.5). Контур режущей части фасонного резца соответствует контуру поверхности, которую нужно получить. Заготовка совершает вращательное движение  $D_r$ , а фасонный резец – движение поперечной подачи  $S_0$ .

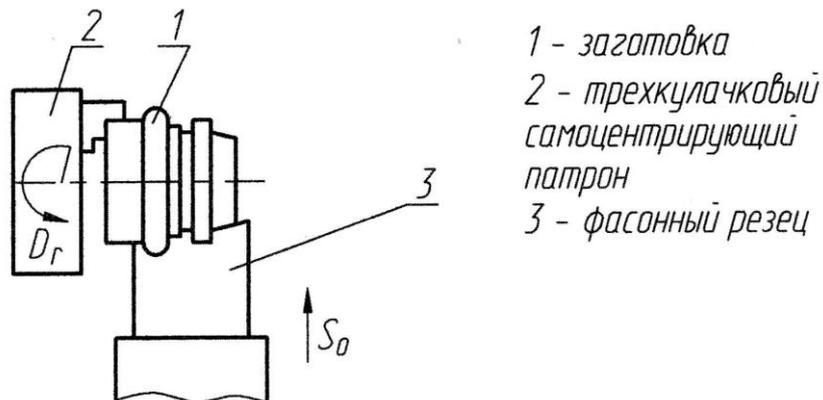


Рис. 4.5 Точение фасонным резцом

Конические поверхности также могут быть получены, если ось вращения заготовки и линия перемещения резца непараллельны (рис. 4.6). Для этого суппорт с резцом поворачивается на угол, равный половине угла при вершине изготавливаемого конуса, а резец совершает простое движение продольной подачи.

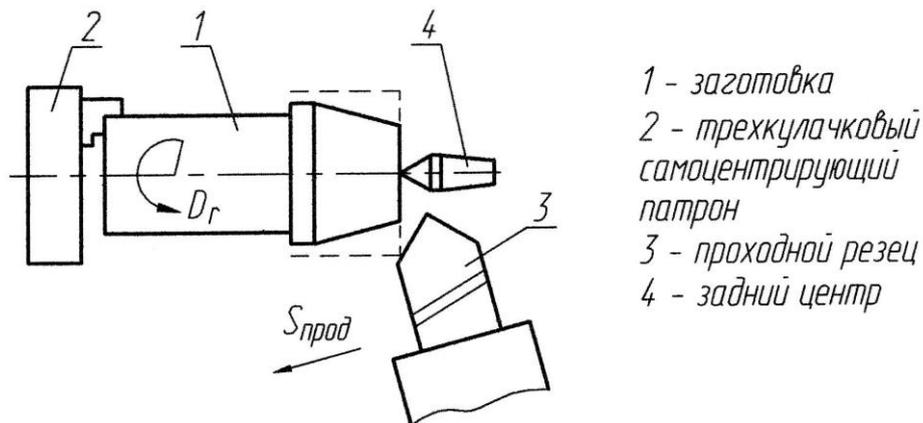


Рис. 4.6 Точение конической поверхности

Нарезание резьбы. На токарных станках может производиться нарезание наружной и внутренней резьбы (т.е. резьбы в отверстиях). Для этой операции используются наружные и внутренние резьбовые резцы. Заготовка совершает вращательное движение, а резец – движение продольной подачи. Причём за один оборот заготовки резец должен переместиться на один шаг нарезаемой резьбы. Например, нарезается резьба М10х1,25. Это значит наружный диаметр резьбы равен 10 мм, а шаг одного витка резьбы равен 1,25 мм. Тогда, для образования винтовой линии, за один полный оборот заготовки резец должен переместиться в продольном направлении на 1,25 мм.

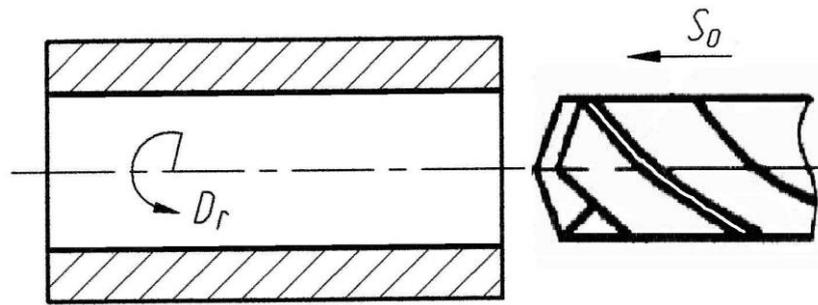


Рис. 4.7 Сверление осевого отверстия

Сверление осевых отверстий. На токарных станках могут быть изготовлены осевые отверстия, т.е., расположенные по оси вращения детали (рис. 4.7). Для этого вместо заднего центра в задней бабке токарного станка устанавливается сверло. Заготовка совершает вращательное движение, а сверло – движение осевой подачи. Далее просверленное отверстие может обрабатываться расточным резцом, зенкером или разверткой (зенкер и развёртка также устанавливаются в задней бабке станка).

#### § 4.1.1 Приспособления для токарных работ

Для базирования заготовки и придания ей вращения служат станочные приспособления, называемые патронами. Существуют самоцентрирующие патроны (трёхкулачковые, цанговые), у которых зажимающие кулачки движутся все одновременно от общего привода, ручного или механизированного. Такие патроны служат для зажима круглых или шестигранных заготовок таким образом, что геометрическая ось симметрии заготовки совпадает с осью вращения. На рис. 4.8 показан трёхкулачковый самоцентрирующий патрон.

Для базирования квадратных, прямоугольных или несимметричных заготовок служат четырёхкулачковые патроны. У них каждый кулачок имеет свой привод и может перемещаться независимо от остальных кулачков. В таком

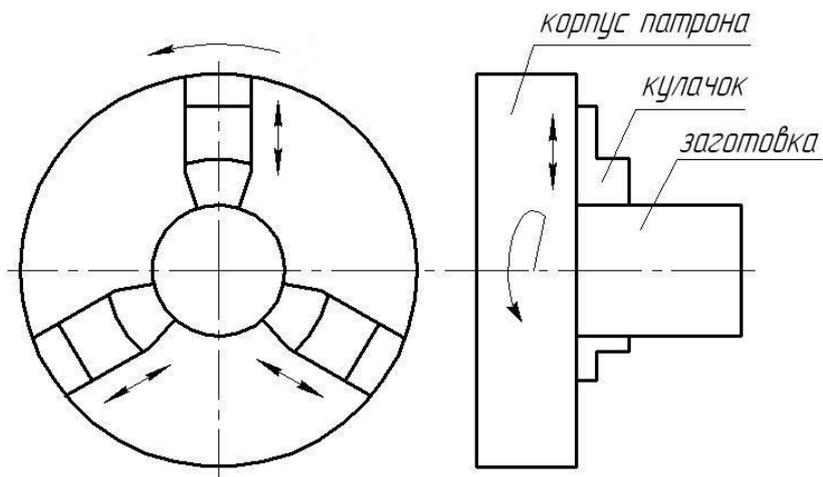


Рис. 4.8 Патрон трёхкулачковый самоцентрирующий

патроне можно закрепить заготовку любой формы и создать необходимую ось вращения. Например, для операции растачивания отверстия в корпусе насоса (рис. 4.9). Закреплённый в патроне корпус будет вращаться вокруг оси отверстия.

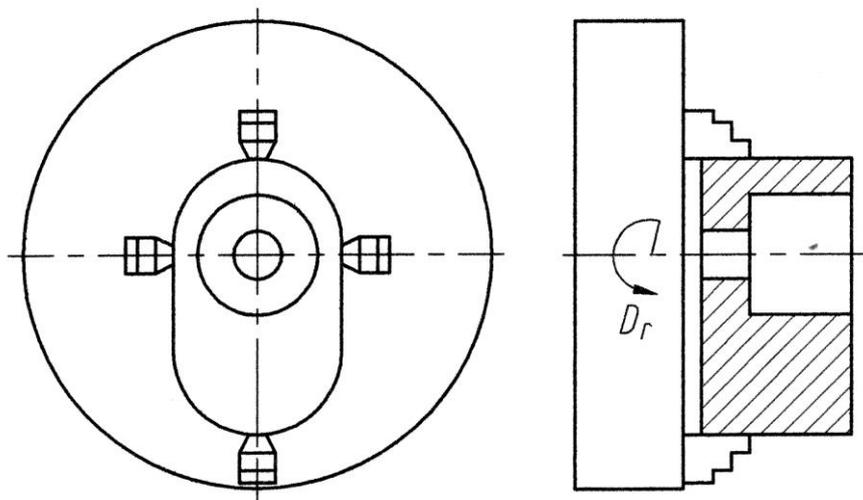


Рис. 4.9 Патрон четырёхкулачковый

Если длина заготовки составляет более  $2d$ , то возникает необходимость во второй опоре. В этом случае применяются задние центры. Опорой для левой стороны заготовки служит патрон, а для правой стороны – задний центр. На рис. 4.1 показано закрепление заготовки в патроне с опорой на задний центр. Совместно они создают технологическую базу для длинной заготовки. Для

заднего центра в заготовке необходимо изготовить специальное центровое отверстие. Задние центры бывают неподвижные и вращающиеся. Вращающийся центр прижимается к заготовке с определённым усилием поджима и вращается вместе с ней. Неподвижные центры более точные, чем вращающиеся, но в месте его контакта с заготовкой происходит интенсивный нагрев, т.к. заготовка вращается, а центр нет. Между ними происходит трение и нагрев. Поэтому, неподвижные центры могут применяться только при небольших частотах вращения заготовки.

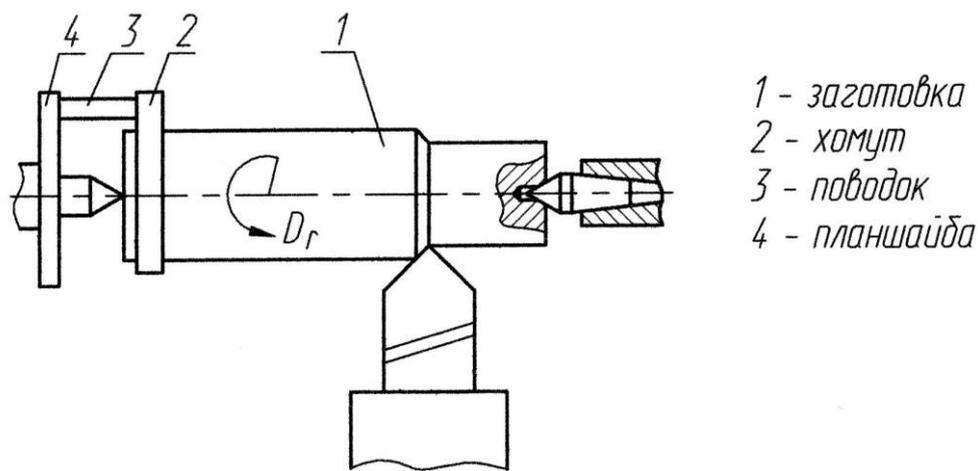


Рис. 4.10 Установка заготовки в центрах и поводковом патроне

Часто заготовку базируют не в патроне, а в двух центрах – переднем и заднем. Такая схема обеспечивает постоянство базирования, а значит более точная. Но центры только базируют заготовку, а ей необходимо придать ещё вращение. Для этой цели служат поводковые патроны (рис 4.10). В его состав входят хомут 2 для захвата заготовки 1 и поводок 3, соединяющий хомут с вращающимся шпинделем станка. Таким образом заготовке передаётся вращение со шпинделя.

Если обрабатывается нежёсткая заготовка,  $L > 12d$ , (т.е. заготовка, имеющая малую способность к сопротивлению действующим на неё усилиям, легко деформирующаяся), то необходимо предусмотреть дополнительную опору для заготовки для предотвращения её деформаций от действия сил резания. Для этого применяется люнет (рис. 4.11).

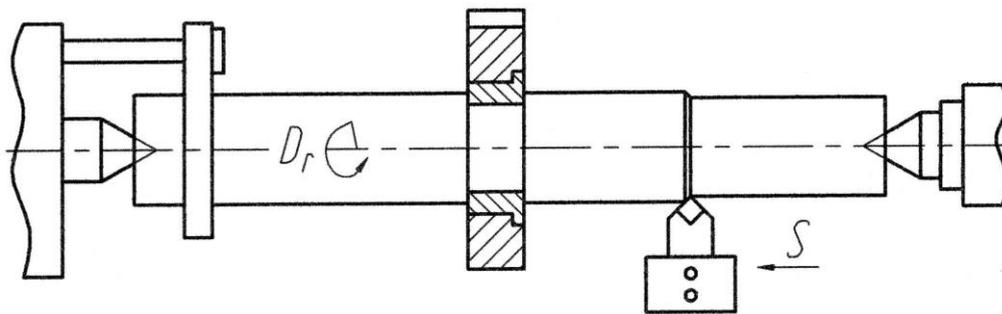


Рис. 4.11 Установка заготовки с дополнительной опорой на неподвижный люнет

### § 4.1.2 Инструменты для токарных работ

Основным инструментом является токарный резец. Разнообразие токарных работ предопределяет разнообразие токарных резцов: проходные (рис. 4.1, 4.6, 4.10, 4.11), подрезные (рис. 4.2а), отрезные, отогнутые, канавочные (4.2б), расточные (рис 4.3), резьбовые, фасонные (рис. 4.5), резцы для алмазного выглаживания, работающие по методу поверхностного пластического деформирования. В ряде случаев могут применяться специальные инструменты – накатники. Они работают по методу пластического деформирования, т.е. вдавливаются в поверхность заготовки и наносят таким образом рифление. При обработке осевых отверстий в задней бабке токарного станка может быть установлено сверло, зенкер, развёртка, метчик.

### § 4.2 Шлифование

Шлифование – это вид обработки, осуществляемый с помощью абразивного инструмента, режущими элементами которого являются зёрна абразивных материалов. Инструментом являются шлифовальные круги, которые состоят из зёрен абразивных материалов, соединённых друг с другом при помощи связки. Абразивные материалы имеют высокую твёрдость. К природным абразивам относятся корунд, алмаз, наждак, гранит, полевой шпат, кварц, кремний и др. К искусственным относятся – электрокорунд, карбиды

кремния, бора, циркония, кубический нитрид бора, алмаз и др. Чаще применяются искусственные материалы, т.к. они более однородные и чистые по составу, а также дешевле.

Существует шесть видов связки для шлифовальных кругов: *керамическая, бакелитовая, вулканитовая, силикатная, глифталиевая и металлическая*. Керамическая связка изготавливается из глины, полевого шпата и кварца. Бакелитовая связка – это синтетическая смола. Вулканитовая – вулканизированный серой каучук. Силикатная – это связка на основе силиката кремния. Глифталиевая связка – это волокнистый материал. Металлическая связка представляет собой спечённый металлический порошок. Применяется для алмазных кругов.

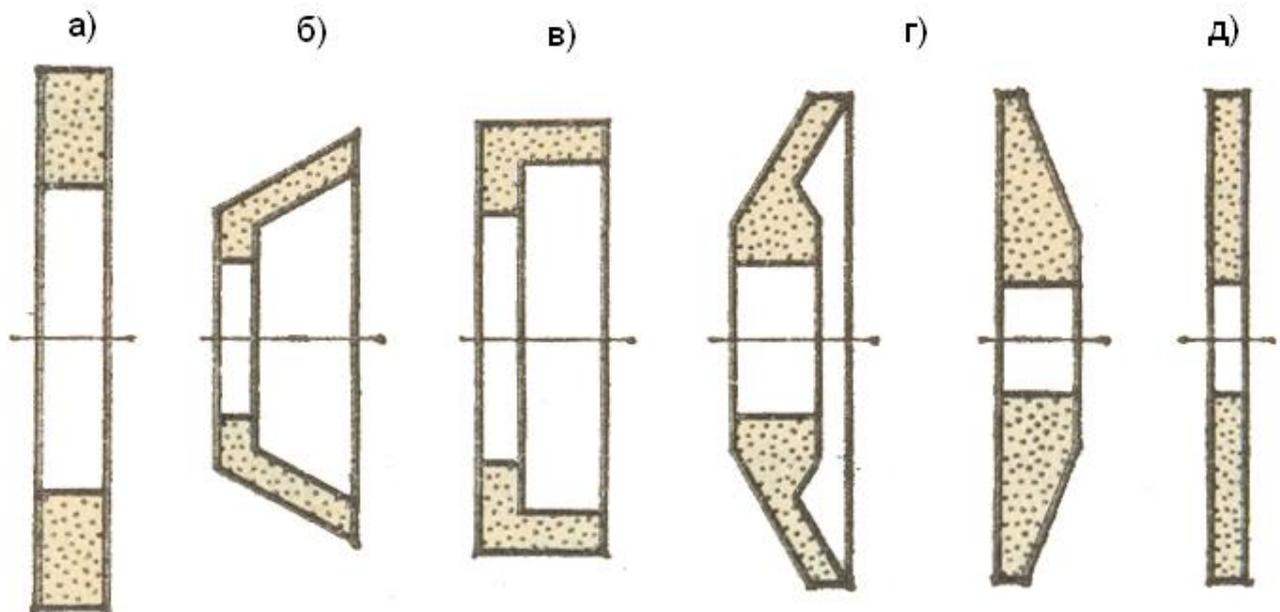


Рис. 4.12 Шлифовальные круги

Шлифовальные круги бывают различной формы (рис. 4.12): а – прямой плоский, б – чашечный конический, в – чашечный цилиндрический, г – тарельчатые круги, д – дисковый. Фасонные круги имеют специальную заточку.

Другим важным параметром шлифовальных кругов является зернистость, т.е. размер зёрен абразивных материалов из которых состоит круг. Зернистость обозначается цифрой: 16, 20, 25 т.д. Зернистость определяется размерами ячеек контрольных сит. Например, зернистость 16 обозначает, что зёрна проходят

через сито, с диаметром ячеек 200 мкм, и не проходят через сито, с диаметром ячеек 160 мкм.

*Твёрдость* шлифовального круга характеризуется силой, которую нужно приложить к зерну, чтобы вырвать его из связки. Чем больше эта сила, тем твёрже круг. По твёрдости круги различаются на: мягкие (М), среднемягкие (СМ), средние (С), среднетвёрдые (СТ), твёрдые (Т), весьма твёрдые (ВТ) и чрезвычайно твёрдые (ЧТ).

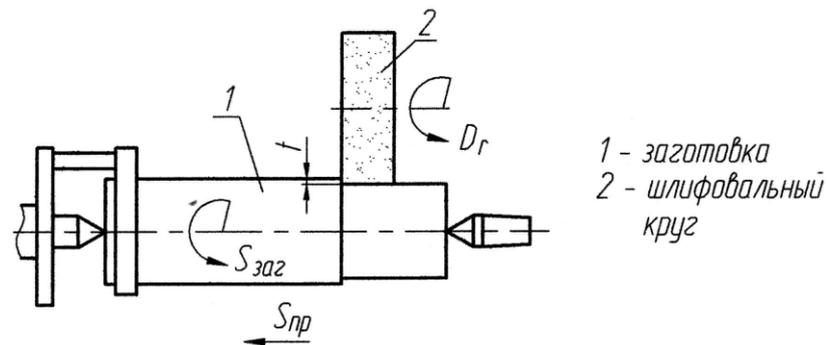


Рис. 4.13 Круглое шлифование методом продольной подачи

Круглое наружное шлифование методом продольной подачи. Схема процесса показана на рис. 4.13. Обработка производится на круглошлифовальных станках. Круг 2 совершает вращательное движение резания  $D_r$ . Заготовка 1 совершает движение круговой подачи  $S_{заг}$  и движение продольной подачи вдоль собственной оси. При этом соблюдается соотношение  $n_{кр} = 60n_{заг}$ . Данный метод применяется для длинных заготовок.

Круглое наружное шлифование методом поперечной подачи. Схема процесса показана на рис. 4.14. Круг 2 совершает вращательное движение резания  $D_r$  и движение поперечной подачи перпендикулярно оси заготовки. Заготовка 1 совершает движение круговой подачи  $S_{заг}$ . При этом соблюдается соотношение  $n_{кр} = 60n_{заг}$ . Данный метод применяется коротких участков заготовки. Ширина круга должна превышать длину обрабатываемого участка.

Торце-круглошлифовальная операция. Обработка производится на торцекруглошлифовальных станках. Схема процесса показана на рис. 4.15. Круг

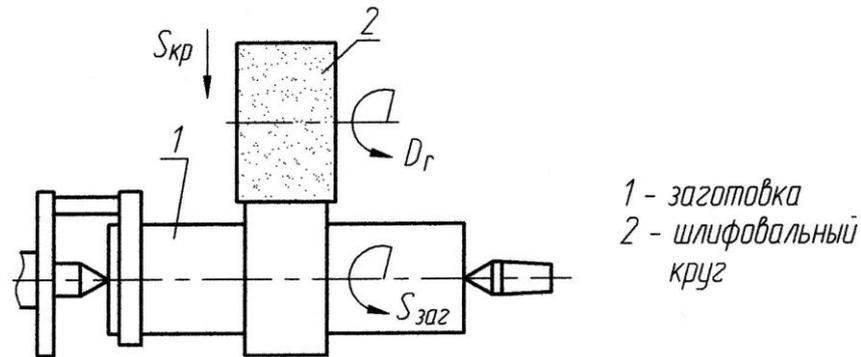


Рис. 4.14 Круглое шлифование методом поперечной подачи

совершает вращательное движение резания  $D_r$  и движение подачи под углом к оси вращения заготовки. Ось вращения круга наклонена к оси вращения заготовки под углом  $26^\circ 34'$ . При этом круг одновременно шлифует наружную цилиндрическую поверхность заготовки и прилегающий торец, т.е. с одного установка. Это обеспечивает повышение производительности обработки и перпендикулярность торца к цилиндрической поверхности. Заготовка 1 совершает движение круговой подачи  $S_{заг}$ .

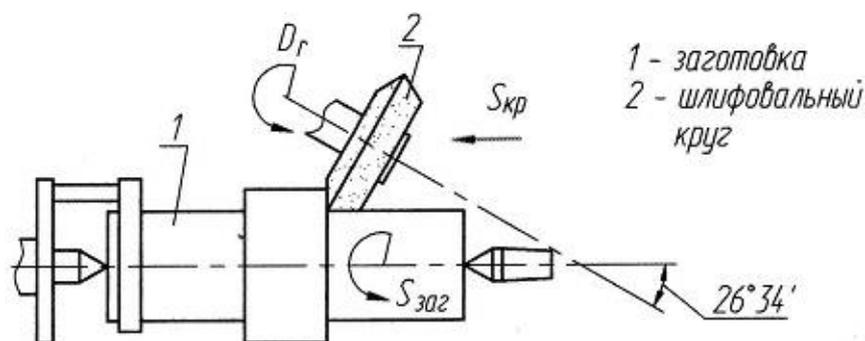


Рис. 4.15 Торцекруглошлифовальная операция

Бесцентровое шлифование. Схема бесцентрового шлифования показана на рис. 4.16. Ведущий круг 2 получает вращение от коробки скоростей станка. Вследствие трения он вовлекает во вращение заготовку 3. Проскальзывание между ведущим кругом и заготовкой небольшое. В свою очередь заготовка

контактирует с рабочим кругом 1 и стремится повернуть его. Рабочий круг обладает значительной массой. Поэтому, вследствие инерции рабочего круга между ним и заготовкой происходит в основном проскальзывание, а соответственно снятие припуска и обработка заготовки. При шлифовании длинных заготовок ось ведущего круга поворачивают на угол  $1...7^\circ$  в вертикальной плоскости, тогда заготовка получает перемещение вдоль собственной оси и обрабатывается по всей длине.

Преимуществом бесцентрового шлифования является высокая производительность. Но наладка станка на другой размер требует значительного времени, поэтому бесцентровое шлифование применяется в крупносерийном и массовом производстве.

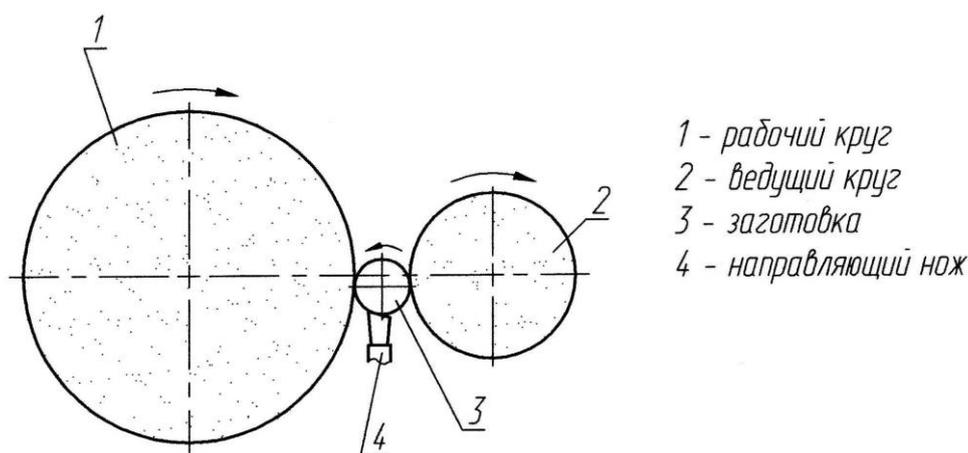


Рис. 4.16 Бесцентровое шлифование

Плоское шлифование. Схема плоского шлифования показана на рис. 4.17. Обрабатываются плоские поверхности. Обработка ведётся на плоскошлифовальных станках. Заготовка устанавливается на стол плоскошлифовального станка. Круг совершает вращательное движение резания  $D_r$ , а стол с заготовкой прямолинейное возвратно-поступательное движение  $S$ . Для обработки заготовки по всей ширине круг совершает движение поперечной подачи на каждый двойной ход стола с заготовкой.

Внутреннее шлифование. Внутреннее шлифование применяют в основном для обработки точных отверстий в закалённых деталях, когда невозможно применить более производительные методы обработки. Обработку производят

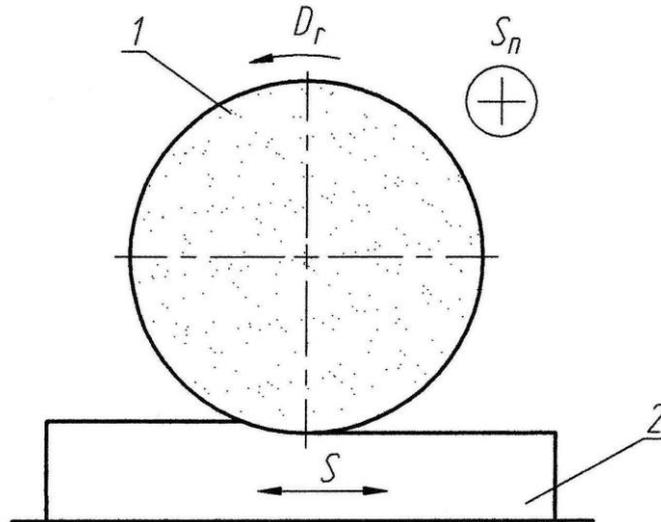


Рис. 4.17 Плоское шлифование

на внутришлифовальных станках. Схема внутреннего шлифования показана на рис. 4.18. Круг совершает вращательное движение резания  $D_r$  и прямолинейное движение подачи  $S_{кр}$ . Заготовка совершает вращательное движение круговой подачи  $S_{заг}$ . Также внутреннее шлифование может производиться при неподвижной заготовке. В этом случае шпиндель станка со шлифовальным кругом совершает вращательное и планетарное движение. Также осуществляется продольная подача круга.

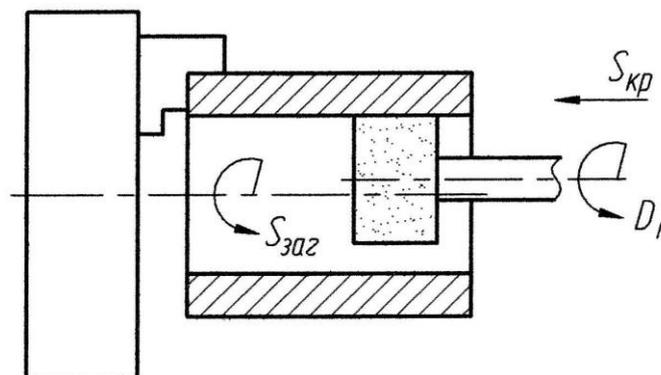


Рис. 4.18 Внутреннее шлифование

Полирование. Кинематика процессов полирования аналогична соответствующим процессам шлифования. При полировании используются матерчатые (тканевые) круги, а в зону резания подаётся абразивная паста. В ней находятся мелкие частицы абразивных материалов в свободном состоянии. Полирование не повышает точность, а только снижает шероховатость поверхности.

Правка кругов. В процессе шлифования происходит износ круга: затупление режущих зёрен, засаливание круга, потеря точности геометрической формы круга. Для восстановления режущей способности и геометрической формы круги подвергают правке. При правке с поверхности круга удаляют слой изношенных зёрен, обнажая нижележащие слои. Для правки круга применяют алмазные карандаши, наборы твёрдосплавных звёздочек, другие абразивные круги.

Приспособления для шлифовальных работ. Для круглошлифовальных работ применяют приспособления, аналогичные приспособлениям для токарных работ: самоцентрирующие патроны, поводковые патроны, неподвижные центры, рифленные центры. Рифлённые центры имеют на рабочих поверхностях выступы, которые внедряются в заготовку и передают ей вращение, т.е. такие центры служат и для базирования и для вращения заготовки. Для плоскошлифовальных работ применяются магнитные приспособления, вакуумные приспособления. Обрабатываемая заготовка прилипает к установочным поверхностям таких приспособлений.

### § 4.3 Обработка отверстий

В зависимости от конструкции и служебного назначения существует 6 типов отверстий:

- 1) Крепёжные отверстия для болтов, шпилек, заклёпок в различных деталях. Точность таких отверстий невысока – 12...13 квалитет.
- 2) Гладкие и ступенчатые отверстия в деталях, представляющих собой тела вращения (например, полый вал). Такие отверстия обрабатывают на токарных станках (рассмотрено выше).
- 3) Базовые отверстия в корпусных деталях. Такие отверстия изготавливаются с высокой точностью, по 5-7 квалитету, так как они определяют взаимное расположение деталей в узле и определяют качество работы всей машины.
- 4) Глубокие отверстия, с отношением длины к диаметру больше пяти ( $l/d > 5$ ).
- 5) Конические отверстия и отверстия с криволинейной образующей.
- 6) Отверстия некруглого сечения: шестигранные, квадратные, шлицевые, эллиптические и другие.

Обработка отверстий всегда является более сложной и трудоёмкой задачей, чем обработка наружных цилиндрических поверхностей таких же размеров и точности. В зависимости от служебного назначения к отверстиям могут предъявляться следующие требования: точность размера по диаметру, точность координаты отверстия, точность формы отверстия в поперечном сечении (круглость), точность формы отверстия в продольном сечении (цилиндричность), прямолинейность оси отверстия, перпендикулярность оси отверстия торцовым поверхностям.

#### § 4.4 Обработка на сверлильных станках

Основные виды обработки, которые можно выполнять на сверлильном станке, показаны на рис. 4.19.

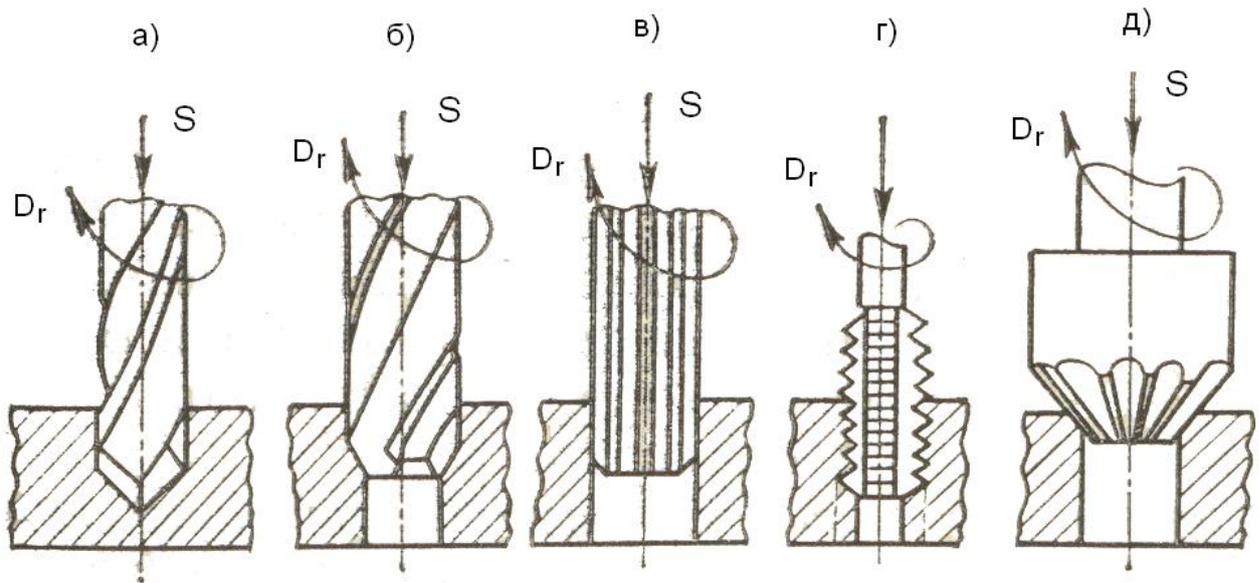


Рис. 4.19 Виды обработки, выполняемые на сверлильном станке

На рис.4.19а показано сверление отверстий. Инструментом является сверло. Сверлением можно изготавливать отверстия в сплошном металле и рассверливать уже имеющиеся отверстия. Заготовка устанавливается в приспособление или непосредственно на стол станка и неподвижна. Сверло закрепляется в сверлильном самоцентрирующем патроне. Оно совершает вращательное движение  $D_r$  и прямолинейное движение подачи  $S$ .

На рис.4.19б показано зенкерование отверстий. Инструмент – зенкер. Зенкер также закрепляется в сверлильном патроне. Он совершает вращательное движение  $D_r$  и прямолинейное движение подачи  $S$ . Зенкерованием обрабатывают отверстия после сверления для повышения точности размеров (до 10 качества), формы, координаты отверстия и уменьшения шероховатости.

На рис.4.19в показано развёртывание отверстий. Инструмент – развёртка. Развёртывание может быть одно-, двух-, трёхкратным. Развёртка также закрепляется в сверлильном патроне. Она совершает вращательное движение  $D_r$  и прямолинейное движение подачи  $S$ . Развёртыванием обрабатывают отверстия после зенкерования для повышения точности размеров (до 6 качества) и формы. Точность координаты развёртыванием не улучшается. Шероховатость может быть доведена до  $Ra0,8...0,4$ .

Нарезание резьбы (рис. 4.19г) производится метчиком после сверления отверстия. Метчик – это инструмент для нарезания резьбы. Он представляет собой винт с образованными на нём режущими кромками. Метчик закрепляется в специальном плавающем патроне, который позволяет метчику самоустановиться по просверленному отверстию. Метчик совершает вращательное движение  $D_r$  и короткое движение подачи только в начале обработки, для ввода в обрабатываемое отверстие. Дальше движения подачи ему не нужно, т.к. он самозатягивается в нарезаемую резьбу. Для вывода метчика из отверстия после нарезания резьбы нужен реверс (вращение в обратную сторону).

Зенкование (рис. 4.19д) применяют после сверления для снятия фасок или для получения конического участка, например под головку винта. Инструмент – зенковка.

#### § 4.4.1 Приспособления для сверлильных работ

Для установки и закрепления сверла, зенкера, развёртки используются сверлильные патроны. Принцип его работы похож на работу токарного самоцентрирующего патрона, только закрепляется в нём инструмент: сверло, зенкер, развёртка, зенковка. Т.е. три кулачка, двигаясь одновременно от общего привода, закрепляют инструмент и придают ему вращение.

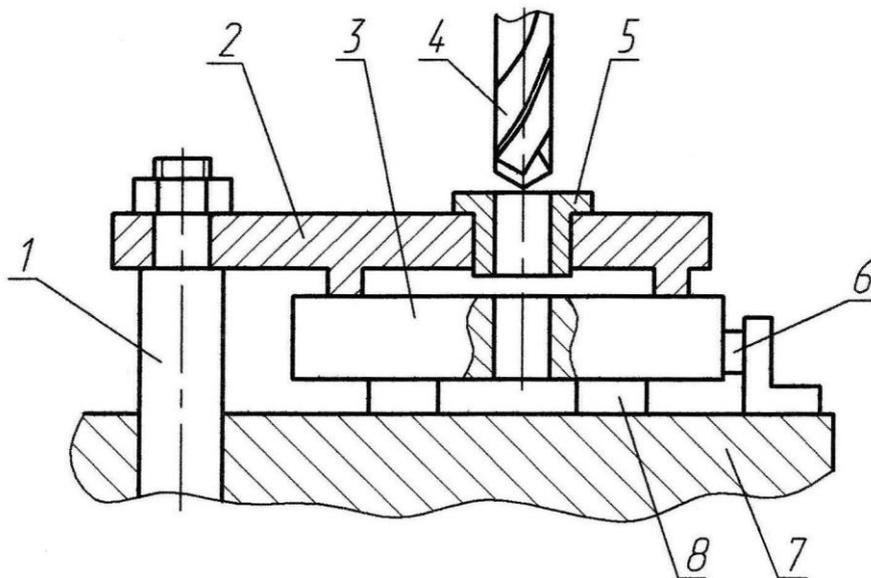


Рис. 4.20 Сверлильный кондуктор

Заготовка может устанавливаться на столе сверлильного станка или в тисках. Для повышения точности координаты отверстия, формы отверстия и производительности обработки используется сверлильное приспособление – кондуктор. Кондуктор служит для базирования, закрепления заготовки и направления сверла. Схема кондуктора показана на рис. 4.20. 1 – шток, 2 – кондукторная плита, 3 – заготовка, 4 – сверло, 5 – кондукторная втулка, 6 – боковая опора, 7 – корпус, 8 – опора штырь. Заготовка базируется по опорам. Шток совершает ход вниз и кондукторная плита закрепляет заготовку. Затем сверло направляется через кондукторную втулку и сверлит отверстие. Таким образом, заготовка закрепляется в кондукторе, а сверло направляется в заданную координату без разметки.

При обработке партии заготовок экономится значительное время, так как разметка координат отверстий занимает много времени. В кондукторе требуемая координата обеспечивается за счёт базирования в нём заготовки, а разметки не требуется. Кроме того, кондукторная втулка удерживает сверло от отклонения от требуемой оси сверления, что значительно повышает точность обработки.

#### § 4.5 Обработка на расточных станках

Расточные станки применяют главным образом для обработки точных (5...8 квалитет) отверстий и торцовых поверхностей корпусных деталей (блоки цилиндров ДВС, корпуса редукторов и др.). Схема обработки показана на рис. 4.21. 1 – планшайба, 2 – резцедержатель, 3 – стол станка. Здесь резец совершает вращательное движение резания  $D_r$ , а заготовка, установленная на столе расточного станка, – прямолинейное движение подачи  $S$ .

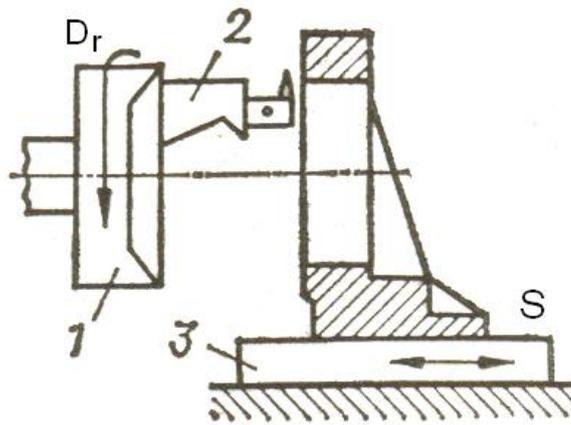


Рис. 4.21 Растачивание отверстия на расточном станке

### § 4.6 Протягивание

Протягивание – это метод обработки отверстий, выполняемый специальным инструментом – протяжкой. Протяжка показана на рис. 4.22: 1 – захватная часть, 2 – переход, 3 – базирующая часть, 4 – режущие зубья, 5 – калибрующие зубья, 6 – хвостовик. На рис. показана заготовка перед началом обработки. Заготовка упирается в планшайбу станка и через её отверстие протягивается протяжка. Протяжка совершает одно прямолинейное движение  $D_r$ . Диаметр каждого режущего зуба больше диаметра предыдущего режущего зуба на величину припуска. Каждый режущий зуб снимает свой припуск за один ход. Калибрующие зубья одного диаметра, который равен диаметру окончательно обработанного отверстия. Калибрующие зубья работают по методу поверхностно-пластического деформирования, т.е. без снятия стружки. Протягиванием можно обрабатывать отверстия различного профиля: круглые, квадратные, шестигранные, шлицевые, шпоночные пазы и др. Соответственно протяжки называются круглые, шестигранные, шлицевые, шпоночные. Протягиванием можно достичь 7 качества и  $Ra0,4$ .

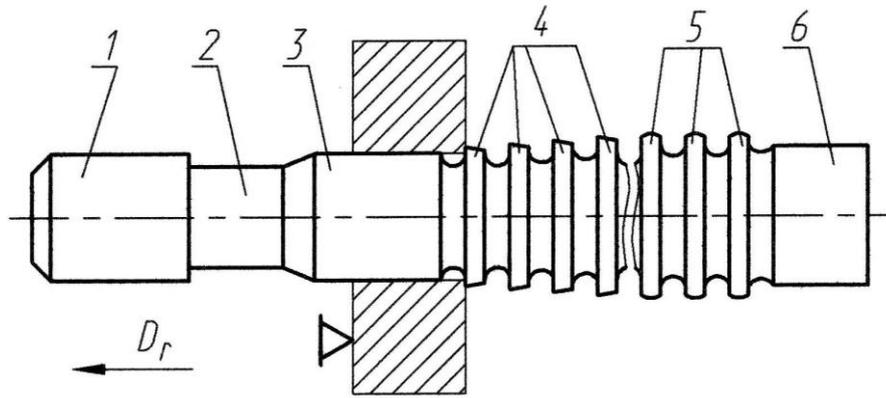


Рис. 4.22 Протяжка

### § 4.7 Обработка фрезерованием

Фрезерование применяется для обработки плоскостей и их сочетаний. Обработка ведётся на горизонтально и вертикально-фрезерных станках. Инструмент – фреза. Фреза является многолезвийным инструментом. Каждый зуб фрезы имеет собственную режущую кромку и снимает свой припуск. Различные схемы фрезерования показаны на рис. 4.23: а) – цилиндрическое фрезерование; б) – торцовое фрезерование; в), г) – фрезерование дисковой фрезой;

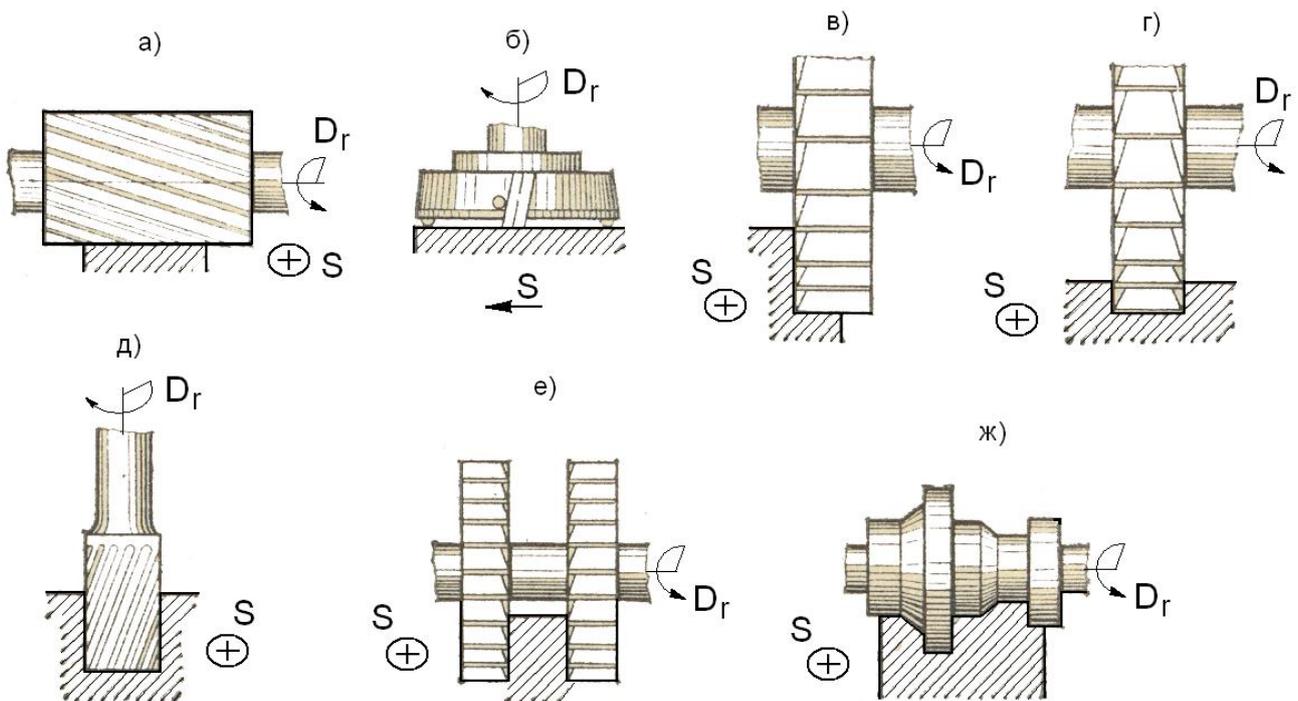


Рис. 4.23 Виды обработки фрезерованием

д) – фрезерование пальцевой, концевой фрезой; е), ж) – фрезерование сложной поверхности набором фрез. Соответственно, инструменты называются: цилиндрическая фреза, торцовая фреза, дисковая фреза, пальцевая фреза. При всех видах фрезерования заготовка устанавливается на стол фрезерного станка, в зажимное приспособление. Инструмент совершает вращательное движение резания  $D_r$ , а стол станка с заготовкой – поступательное движение подачи. Стол может совершать прямолинейное движение при обработке на универсально-фрезерных станках или движение по сложной траектории при обработке на фрезерных станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Фрезерованием обрабатывают различные плоскости, канавки, пазы, лыски. На станках с ЧПУ можно обрабатывать поверхности сложной формы: сферические, винтовые, нерегулярного профиля.

#### § 4.7.1 Приспособления для фрезерных работ

Приспособления служат для базирования и закрепления заготовки. Станочное приспособление устанавливается на стол фрезерного станка, а в нём устанавливается заготовка. Крупногабаритные заготовки могут устанавливаться непосредственно на стол станка.

Тиски служат для базирования и закрепления заготовки. Существуют самоцентрирующие и несамоцентрирующие тиски. Самоцентрирующие имеют два подвижных зажимных элемента (которые называют губками), движущихся одновременно и закрепляющих заготовку, рис. 4.24а. Несамоцентрирующие имеют один подвижный и один неподвижный зажимной элемент, рис. 4.24б.

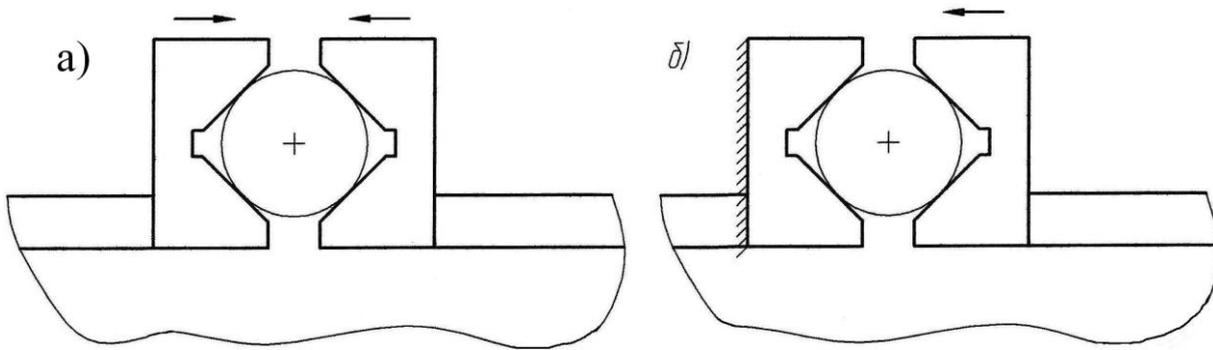


Рис. 4.24 Тиски

Угловой стол служит для установки заготовки под заданным углом к плоскости стола станка и получения таким образом наклонных плоскостей или канавок.

Делительная головка служит для однократного или периодического поворота заготовки на заданный угол, для непрерывного вращения заготовки при фрезеровании винтовых поверхностей (канавки свёрл, разверток и т.п.), для установки заготовки в заданное угловое положение относительно плоскости стола станка.

Вращающиеся столы служат для базирования, закрепления заготовки и придания ей вращения, например при фрезеровании кольцевых канавок, канавок по спирали Архимеда. Стол может вращаться от ручного или механизированного привода.

Поворотные столы применяют для многопозиционной обработки. На столе закрепляют два или более одинаковых зажимных приспособления, в которых закрепляются заготовки. Одна позиция находится в зоне загрузки и выгрузки заготовок. Остальные позиции – в зоне обработки. После окончания фрезерования поворотный стол поворачивается на один угловой шаг. Обработанная заготовка приходит в зону выгрузки, а загруженная новая заготовка переходит в зону обработки. Таким образом, обработка заготовок ведётся на нескольких позициях одновременно с загрузкой и выгрузкой, что приводит к повышению производительности.

## § 4.8 Обработка зубчатых поверхностей

Методы обработки зубчатых колёс делятся на две группы: нарезание копированием и обкаткой. При копировании режущему инструменту придают форму впадины между зубьями, т.е. выполняют специальную, фасонную заточку инструмента. При этом профиль инструмента копируется на обрабатываемой поверхности. На рис. 4.25 показано нарезание зубчатого колеса дисковой модульной фрезой. Дисковая фреза совершает вращательное движение резания  $D_r$  и движение подачи  $S$ . Фреза прорезает одну впадину между двумя соседни-

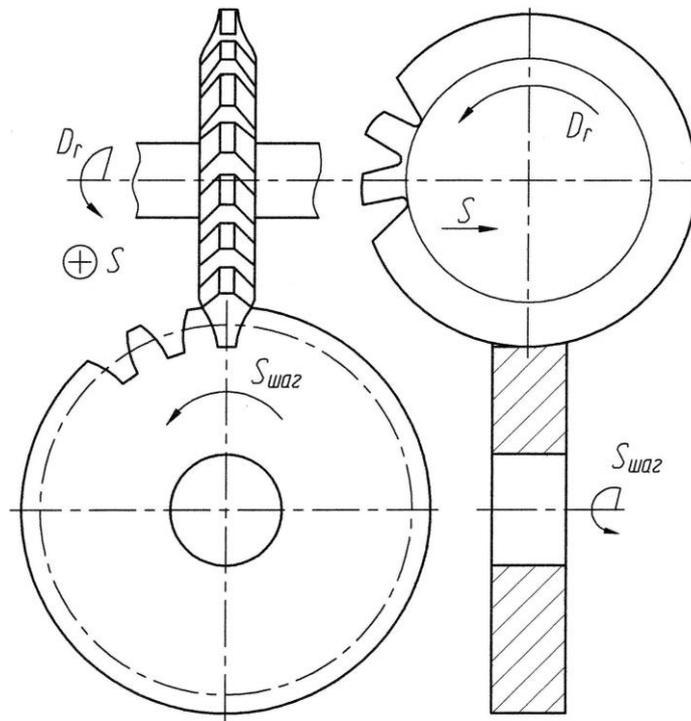


Рис. 4.25 Нарезание зубьев дисковой модульной фрезой

ми зубьями, т.е. формирует две боковые поверхности двух соседних зубьев. После прорезания одной впадины фреза возвращается в исходное положение, а заготовка поворачивается на один угловой шаг  $S_{шаг}$  и подставляет под обработку следующий участок. Прорезается следующая впадина и т.д. по всей окружности.

Также нарезать зубчатые колёса по методу копирования можно пальцевой модульной фрезой (рис. 4.26). Пальцевая модульная фреза совершает

вращательное движение резания  $D_r$  вокруг вертикальной оси и движение подачи  $S$ . В остальном кинематика такая же, как при нарезании дисковой фрезой.

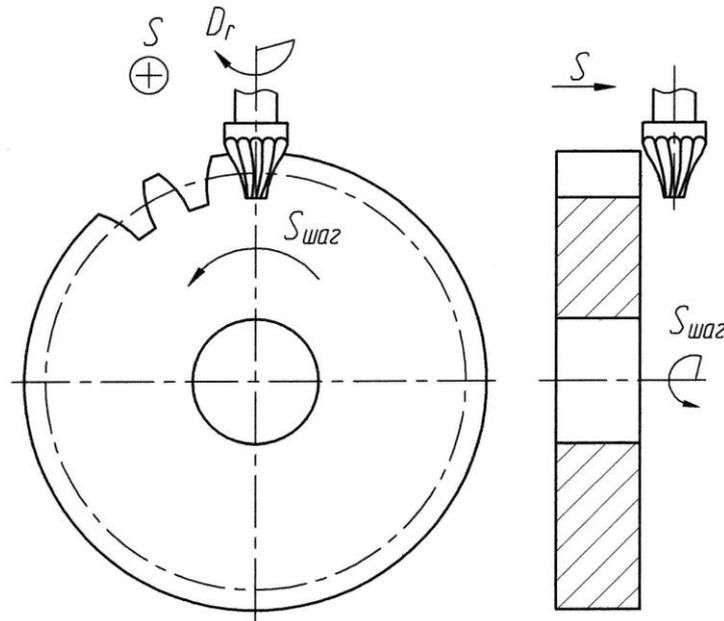


Рис. 4.26 Нарезание зубьев пальцевой модульной фрезой

Метод копирования имеет ряд недостатков: невысокая точность обработки вследствие накапливаемой погрешности шага при движении деления; также точность снижается вследствие неполного соответствия профиля фрезы эвольвентному профилю зуба (поэтому одной фрезой можно нарезать зубчатые колёса одного модуля и приблизительно одинакового числа зубьев); невысокая производительность вследствие затрат времени на возврат фрезы в исходное положение и на движения деления. Преимуществом метода копирования является то, что возможно изготовление зубчатых колёс на универсальных фрезерных станках, т.е. нет необходимости закупать специальные зубофрезерные станки. Также по методу копирования нарезают крупногабаритные зубчатые колёса.

Нарезание зубчатых колёс по методу обката. Метод обката заключается в том, что зубья на зубчатом колесе образуются при совместном согласованном

вращении (обкатке) режущего инструмента и заготовки.

Нарезание зубчатых колёс червячными фрезами наиболее широко применяется в промышленности. Червячная фреза представляет собой червяк, имеющий профиль осевого сечения винтовых ниток в виде зубчатой рейки, и продольные канавки, образующие режущие зубья рейки. В процессе нарезания червячная фреза и обрабатываемая заготовка воспроизводят (имитируют) червячную передачу. Процесс показан на рис 4.27. Фреза совершает вращательное движение резания  $D_r$  и движение подачи  $S$  вдоль оси заготовки, чтобы прорезать зубья по всей ширине заготовки. Заготовка совершает вращательное движение подачи  $S_{заг}$ , причем вращение фрезы и заготовки взаимно согласовано: за один полный оборот фрезы заготовка поворачивается на один угловой шаг (один зуб). Зубчатое колесо будет нарезано, когда заготовка совершит один полный оборот. В отличие от метода копирования, заготовка вращается непрерывно.

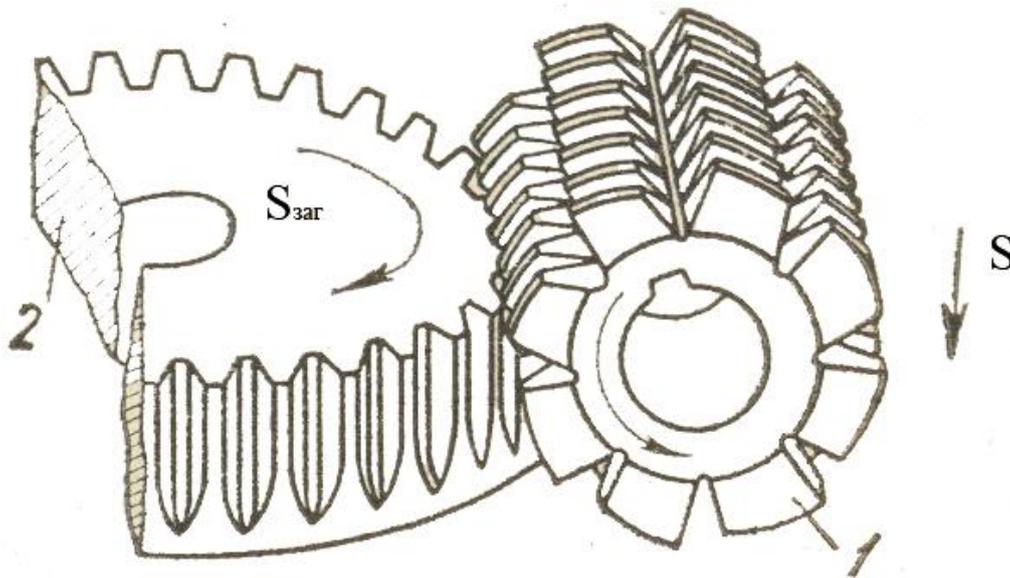


Рис. 4.27 Зубофрезерование червячной фрезой

Преимущества: высокая производительность, высокая точность; червячная фреза нарезает зубчатые колёса одного модуля с любым числом зубьев.

Недостатки: сложность самого инструмента, обработка выполняется на зубофрезерных станках, т.е. необходимо оснащение зубофрезерными станками,

которые предназначены только для нарезания зубчатых колёс.

Нарезание зубчатых колёс долбяком (зубодолбление). Этот способ относится к методам обкатки. Способ заключается в том, что в процессе обработки воспроизводится зацепление двух зубчатых колёс, одно из которых

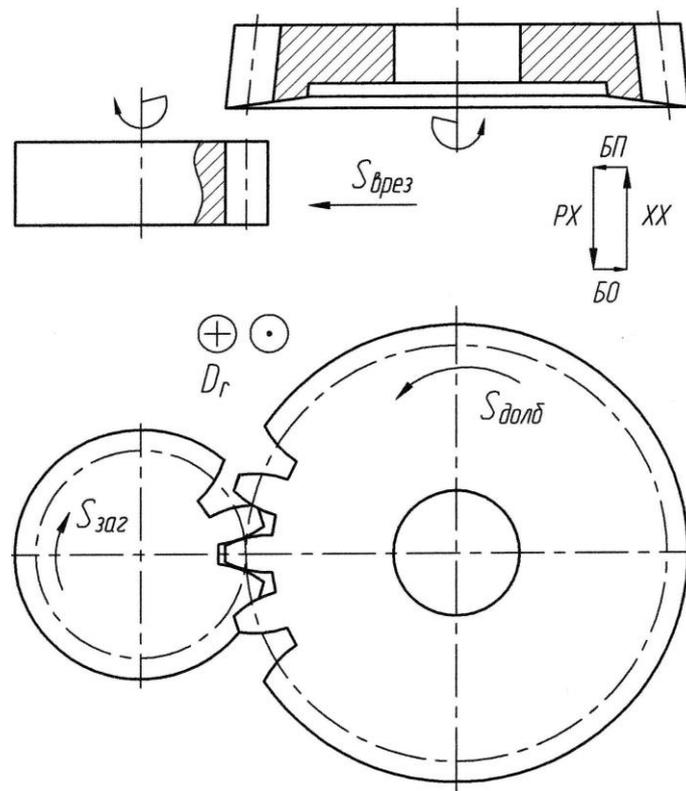


Рис. 4.28 Зубодолбление

является заготовкой, а второе – режущим инструментом. Инструмент называется долбяк. Он представляет собой зубчатое колесо, зубья которого имеют режущие кромки и могут осуществлять процесс резания. Схема процесса зубодолбления показана на рис. 4.28. Долбяк совершает возвратно-поступательные движения резания  $D_r$ . Сначала он совершает движение  $S_{\text{врез}}$  и врежется в заготовку на высоту зуба. Затем начинается взаимно-согласованное движение обката  $S_{\text{долб}}$  и  $S_{\text{заг}}$  таким образом, что долбяк и заготовка воспроизводят зацепление двух зубчатых колёс. Циклограмма движений долбяка показана на рисунке: PX – рабочий ход, БО – быстрый отвод, XX –

холостой ход, БП – быстрый подвод.

Преимущества: возможность нарезания блоков шестерён вследствие малого расстояния для выхода инструмента, возможность нарезания ЗК внутреннего зацепления.

Недостатки: невысокая производительность вследствие дополнительных затрат времени на совершение холостых ходов.

Нарезание прямозубых конических колёс. Основным методом нарезания конических зубчатых колёс является зубострогание. Зубострогание относится к методам обката. Оборудование – зубострогальные станки. Инструмент называется зубострогальный резец. Схема процесса показана на рис. 4.29.

Обработка

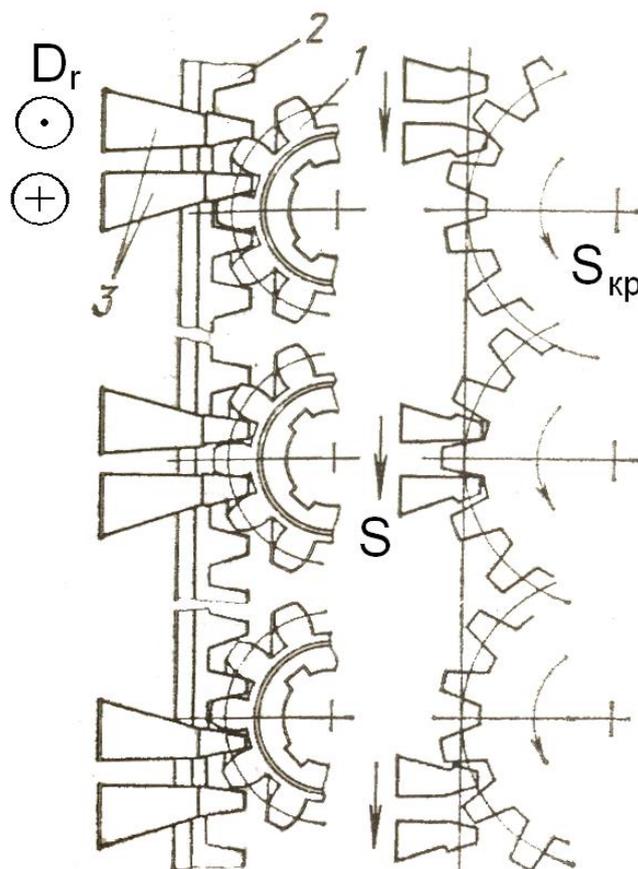


Рис. 4.29 Зубострогание

ведётся двумя резцами. Каждый резец формирует одну боковую поверхность одного зуба. При работе пара резцов и заготовка воспроизводят зацепление

зубчатого колеса и зубчатой рейки. Резцы совершают прямолинейное возвратно-поступательное движение резания  $D_r$ . При этом суппорт с резцами и заготовка совершают взаимно согласованное движение обката. Суппорт – прямолинейное движение  $S$ , а заготовка – вращательное движение  $S_{KP}$ . Таким образом, пара резцов формирует один зуб конического зубчатого колеса. После полного формирования одного зуба суппорт с резцами возвращается в исходное положение, а заготовка совершает часть оборота и подставляет под обработку новый участок, и цикл обработки повторяется.

Преимущество способа – высокая точность, недостаток – низкая производительность. Для повышения производительности был разработан способ нарезания конических зубчатых колёс круговой протяжкой.

Отделочные виды обработки зубчатых колёс. Зубофрезерованием и зубостроганием можно достичь 10...9 степени точности зубчатого колеса. Для более высокой точности требуются отделочные операции. Отделочные виды обработки зубчатых колёс бывают со снятием стружки (шевингование, зубошлифование, хонингование, притирка) и без снятия стружки (обкатывание).

Шевингование относится к методам обкатки. Обработку ведут на шевинговальных станках специальным инструментом – *шевером*. Шевер представляет собой зубчатое колесо, изготовленное из инструментальной стали. На боковых поверхностях зубьев шевера изготовлены узкие канавки, которые образуют режущие кромки шевера (рис. 4.30).

Схема шевингования показана на рис. 4.31. 1 – шевер, 2 – заготовка. Шевер вводится в зацепление с обрабатываемым зубчатым колесом и получает принудительное вращение от привода станка (движение  $D_r$ ), причём оси вращения шевера и заготовки скрещивающиеся. Шевер вращает заготовку. Скрещивание осей приводит к продольному относительному скольжению зубьев шевера и заготовки, и при этом режущие кромки зубьев шевера срезают при-

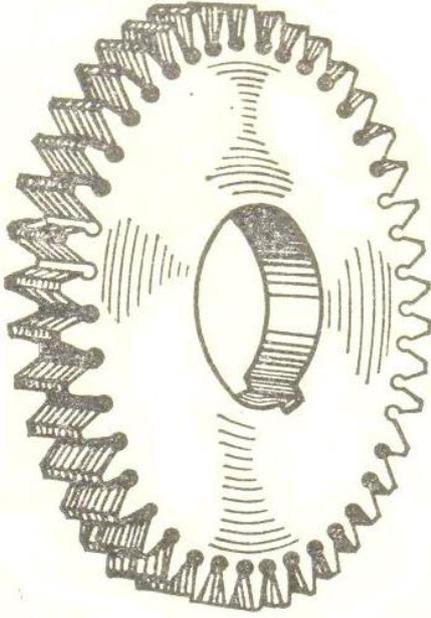


Рис. 4.30 Шевер

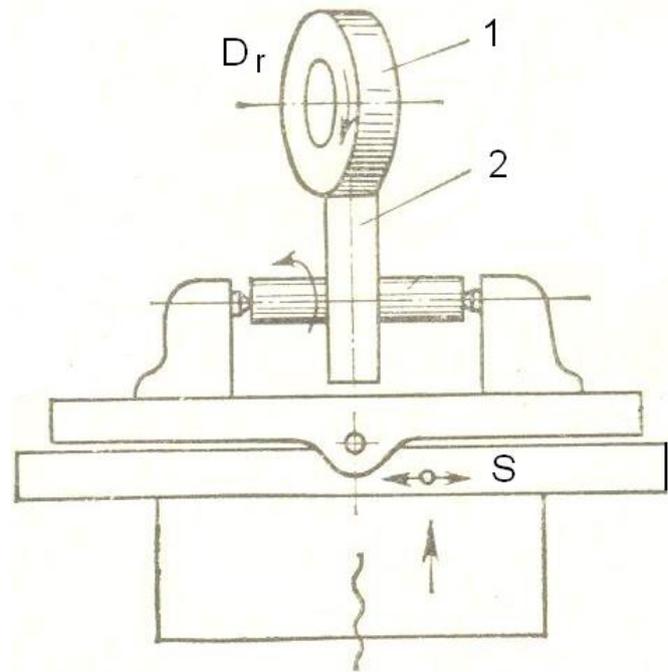


Рис. 4.31 Зубошевингование

пуск с боковых поверхностей зубьев заготовки. Для обработки заготовки по всей ширине заготовка совершает движение продольной подачи  $S_{пр}$ . Шевингованием можно достичь 5 степени точности и  $Ra0,6$ . Также шевингованием можно придать зубьям бочкообразность.

Преимущества: высокая точность, высокая производительность.

Недостатки: сложность и дороговизна инструмента.

Зубошлифование. Существует зубошлифование по методу копирования и по методу обката. Зубошлифованием достигается 4 степень точности и шероховатость до  $Ra0,1$ .

Схема зубошлифования по методу обката показана на рис. 4.32. 1 – тарельчатые шлифовальные круги, 2 – заготовка. При работе суппорт со шлифовальными кругами и заготовка воспроизводят зацепление зубчатого колеса и зубчатой рейки. Круги совершают вращательное движение резания  $D_r$ . Суппорт с кругами и заготовка совершают взаимно согласованное движение обката  $S_{обк}$  (суппорт – прямолинейное, а заготовка – вращательное). Каждый круг обрабатывает одну боковую поверхность одного зуба. В процессе обката

шлифоваль-

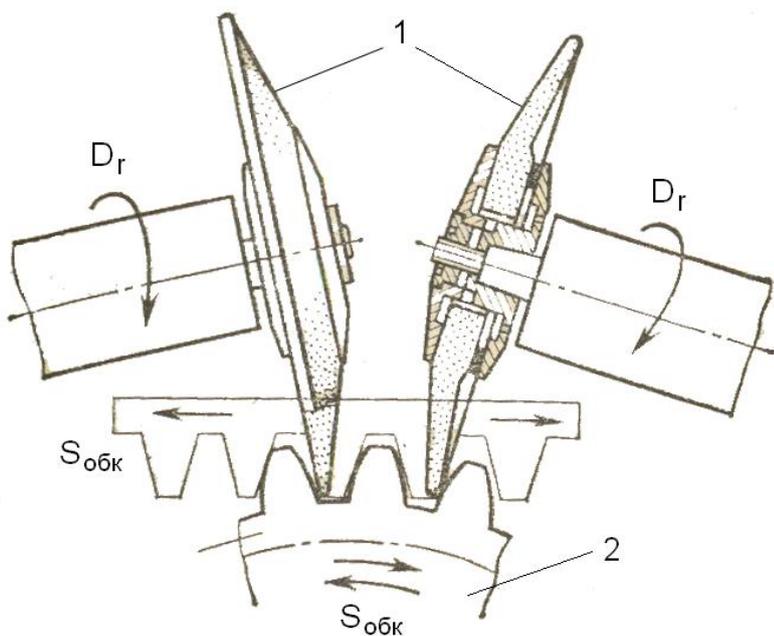


Рис. 4.32 Зубошлифование

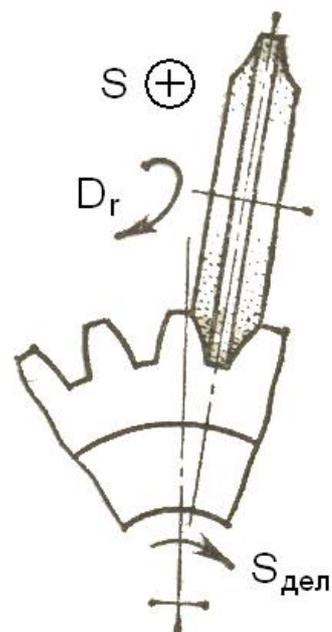


Рис. 4.33 Зубошлифование

ные круги и заготовка совершают несколько двойных ходов. После этого заготовка поворачивается на один угловой шаг (один зуб) и подставляет под обработку следующие зубья, и т.д. по всей окружности.

При зубошлифовании по методу копирования применяется фасонный шлифовальный круг, профиль которого копируется на обрабатываемые зубья. Схема процесса показана на рис. 4.33. 1 – фасонный шлифовальный круг, 2 – заготовка. Круг совершает вращательное движение резания  $D_r$  и движение подачи  $S$ . Круг обрабатывает одну впадину зубчатого колеса. Затем заготовка совершает движение деления  $S_{дел}$  – вращается на один угловой шаг – и подставляет под обработку следующую впадину и т.д. по всей окружности.

#### § 4.9 Точность и шероховатость, достигаемая различными методами обработки

Используя рассмотренные выше методы обработки различных поверхностей может быть достигнута различная точность размеров, точность

формы и взаимного расположения поверхностей, качество поверхности детали. Обработка может быть одно-, двух-, многократной. Одна и та же поверхность может быть обработана различными методами. При этом точность и качество поверхности будут повышаться с каждым проходом инструмента. Таблица 4.1 показывает, какими методами может быть достигнута требуемая точность поверхности и сколько рабочих переходов для этого необходимо совершить.

таблица 4.1 Точность методов обработки

№ перехода	Квалитет точности	Ra, мкм	Тип поверхности		
			наружная цилиндрическая	внутренняя цилиндрическая	плоская
1	12	12,5	Т, Шо	С, З, Р	СТ, Ф, Шо
2	10...9	6,3	Тп, Ш	Зп, Рп	СТп, Фп, Ш
3	8	1,6...3,2	Тч, Шп	РВ, Рч, Шп, П	СТч, Фч, Шп
4	6	0,63...1,6	Тт, Шч	РВч, Рт, Шч, Пч	СТт, Фт, Шч
5	5	0,2...0,4	Шт, СФ, АВ	Х, АВ, ПР	Шт, ШБ
6	пред. обр.	0,05...0,4	ПО	ПО	ПО

Расшифровка обозначений:

Т – точение; Ш – шлифование;

С – сверление, З – зенкерование;

Р – растачивание, РВ – развёртывание;

СТ – строгание; Ф – фрезерование;

П – протягивание; ПО – полирование; ШБ – шабрение.

СФ – суперфиниш; АВ – алмазное выглаживание;

п – получистовое; ч – чистовое; т – тонкое.

Если для детали требуется термообработка на твёрдость (объёмная закалка, цементация), то после термообработки предпочтительнее применять абразивную обработку. Для незакалённых деталей предпочтительнее лезвийная обработка.

Метод обработки полирование не повышает точность детали, а только снижает шероховатость поверхности, поэтому его применяют в тех случаях, когда требуется малая шероховатость для деталей невысокой точности или если требуется получить очень малую шероховатость поверхности. После полирования деталь имеет точность, достигнутую на предыдущей обработке.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Виды точения? Кинематика наружного точения?
- 2) Способы точения фасонных поверхностей?
- 3) Способы установки заготовок при точении?
- 4) Токарные патроны? Назначение и принцип работы?
- 5) Инструменты для токарной обработки?
- 6) Виды шлифования?
- 7) Кинематика круглого врезного шлифования?
- 8) Кинематика круглого шлифования с поперечной подачей?
- 9) Характеристики шлифовальных кругов?
- 10) Технологические возможности сверлильного станка?
- 11) Кинематика сверлильной операции?
- 12) Устройство скальчатого кондуктора?
- 13) Виды фрезерования?
- 14) Кинематика фрезерования торцевой фрезой?
- 15) Кинематика фрезерования цилиндрической фрезой?
- 16) Назначение делительной головки?
- 17) Нарезание зубчатых колёс пальцевой фрезой?
- 18) Нарезание зубчатых колёс червячной фрезой?
- 19) Операции отделки зубчатых колёс?
- 20) Кинематика зубошевиговальной операции?

## **Глава 5. Основные металлические материалы, применяемые в машиностроении**

Число металлических сплавов, применяемых в технике, исчисляется тысячами и постоянно возрастает в соответствии с возникающими требованиями различных отраслей промышленности. Классификация и характеристика всех сплавов по одному из признаков, одинаковому для всех, невозможна. Поэтому, принято классифицировать сплавы по ряду признаков, к которым относятся химический состав, назначение, свойства и. т.д.

### § 5.1 Конструкционные стали

Сталью называется сплав железа с углеродом, где содержание углерода от 0,01 до 2%. Кроме железа и углерода в стали всегда содержатся постоянные примеси: марганец, кремний, сера и фосфор. В стали могут быть также и другие случайные примеси: хром, никель, медь и другие элементы.

По назначению стали разделяют на конструкционные, инструментальные и стали специального назначения.

Конструкционными называют стали, применяемые для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений. Конструкционная сталь должна обладать высокой прочностью, пластичностью и вязкостью в сочетании с хорошими технологическими свойствами, т.е. хорошо обрабатываться резанием и давлением, хорошо свариваться.

Есть три основные группы конструкционных сталей: сталь углеродистая обыкновенного качества, сталь углеродистая качественная и конструкционные легированные стали. Существуют также стали специального назначения.

Сталь конструкционная обыкновенного качества. Требования к этой группе сталей устанавливает ГОСТ380-94. Эти стали содержат до 0,5%

углерода и к их производству не предъявляют высоких требований. Они легко обрабатываются резанием, хорошо свариваются.

Стали обыкновенного качества наиболее дешёвые и используются для изготовления деталей и конструкций менее ответственного назначения. В зависимости от назначения и гарантируемых свойств, стали обыкновенного качества делятся на три группы: А, Б и В. В группу «А» входят стали, поставляемые по механическим свойствам, т.е. с гарантированными механическими свойствами. В группу «Б» входят стали, поставляемые по химическому составу. В группу «В» – по механическим свойствам и химическому составу. Все стали обыкновенного качества обозначаются буквами «Ст» и цифрой после них. Цифра обозначает порядковый номер этой стали в ГОСТе. В ГОСТе записаны свойства и химсостав этой марки стали. Например:

– БСт2 – это сталь обыкновенного качества, группы «Б», порядковый номер этой стали в ГОСТ380-94 – второй;

– ВСт4 – это сталь обыкновенного качества, группы «В», порядковый номер этой стали в ГОСТ380-94 – четвёртый;

– Ст3 – это сталь обыкновенного качества, группы «А» (буква «А» в обозначении марки стали не ставится), порядковый номер этой стали в ГОСТ380-94 – третий.

Сталь конструкционная качественная. По сравнению со сталями обыкновенного качества к качественным сталям предъявляют более высокие требования, а именно: меньшее содержание серы, фосфора, неметаллических включений. Они более дорогостоящие, требования к этим сталям устанавливает ГОСТ1050-88.

Эти стали обозначаются так: Сталь12, Сталь 08, Сталь45. Цифра обозначает содержание углерода в сотых долях процента, т.е. в Сталь12 содержится около 0,12% углерода и приблизительно 99,8% железа, а также есть примеси; в Сталь45 – 0,45% углерода. Низкоуглеродистые стали очень

пластичные, хорошо обрабатываются давлением (например из Сталь08 изготавливают детали кузова автомобиля), хорошо свариваются. Высокоуглеродистые стали более твёрдые и прочные. Они хорошо обрабатываются резанием, также хорошо свариваются. Из них изготавливают различные детали ответственного назначения.

Стали конструкционные легированные (ГОСТ4543-71, ГОСТ14959-69 – рессорно-пружинные, ГОСТ19282-73 – строительные). Легированными называют стали, содержащие в своём составе кроме железа и углерода специально добавляемые легирующие элементы с целью получения особых свойств сплава: высокой прочности, коррозионной стойкости, жаропрочности, стойкости к определённым химическим веществам и др. Например, для получения нержавеющей стали в неё добавляют не менее 12% хрома. Эти стали дорогостоящие.

Для обозначения марок сталей принята буквенно-цифровая система маркировки. Сначала ставится цифра, обозначающая содержание углерода в сотых долях процента. Если цифры нет, то углерода один процент. Далее следуют буквы, обозначающие легирующие элементы. После каждой буквы ставится цифра, обозначающая содержание в сплаве данного легирующего элемента в процентах. Если цифры после буквы нет, то соответствующего элемента один процент. Буква «А» в конце марки означает, что сталь высококачественная, т.е. в ней меньше примесей серы и фосфора.

Легирующие элементы обозначаются следующими буквами: Г – марганец, Х – хром, Н – никель, Т – титан, В – вольфрам, Ф – ванадий, С – кремний, М – молибден, К – кобальт, Ю – алюминий, Д – медь, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий, П – фосфор. Например:

- Сталь 65Г содержит около 0,65% углерода, 1% марганца, а остальное железо;
- Сталь ХВ5А содержит 1% углерода, 1% хрома, 5% вольфрама, сталь высококачественная;

– Сталь 12Х18Н9Т содержит 0,12% углерода, 18% хрома, 9% никеля, 1% титана (нержавеющая ГОСТ5632-72).

Легированная сталь применяется для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях больших нагрузок, высоких температур, в агрессивной химической среде и др.

## § 5.2 Инструментальные материалы

Инструментальные стали – это большая группа сталей, которые в результате термической обработки получают высокую твёрдость, прочность и износостойкость, необходимые для обработки материалов резанием или давлением. Инструментальные стали также подразделяются на углеродистые и легированные.

*Стали инструментальные углеродистые.* Эти стали содержат от 0,65 до 1,35% углерода. Они подразделяются на качественные и высококачественные (отличается пониженным содержанием примесей серы, фосфора, кремния и марганца). Твёрдость высококачественной и качественной стали одинакова, но высококачественная сталь прочнее, лучше противостоит действию ударных нагрузок. Закалённые инструментальные стали имеют твёрдость 45...65HRC (45...65 единиц по шкале Роквелла).

Маркируются эти стали следующим образом: впереди ставится буква У (углеродистая), а за ней цифра, обозначающая содержание углерода в десятых долях процента. Высококачественная сталь обозначается буквой «А» после цифры. Например: У7 (содержание углерода 0,7%, остальное – железо), У7А, У8, У8А.

Инструментальные углеродистые стали применяются для изготовления деревообрабатывающего инструмента, слесарного инструмента (молотки, пассатижи, напильники, зубила и др.), штампов, буров. Для изготовления металлорежущего инструмента используется в настоящее время редко.

Стали инструментальные легированные (быстрорежущие стали)

(ГОСТ19265-73). Основное применение инструментальные легированные стали находят для изготовления металлорежущих инструментов. Основным требованием для режущего инструмента является высокая твёрдость, которая должна сохраняться при высоких температурах (550...650°C), возникающих в процессе резания металлов. Быстрорежущие стали обладают такими свойствами. Закалённые быстрорежущие стали имеют твёрдость 60...70HRC (60...70 единиц по шкале Роквелла). Основными легирующими элементами для них являются вольфрам, ванадий, молибден, хром, кобальт.

Быстрорежущие стали обозначают буквой «Р». Цифра за буквой «Р» обозначает содержание вольфрама в процентах. Остальные легирующие элементы обозначаются такими же буквами, как при обозначении конструкционных легированных сталей. Например: P18 – быстрорежущая сталь, содержащая 1% углерода, 18% вольфрама и около 81% железа; P6M5 – быстрорежущая сталь, содержащая 1% углерода, 6% вольфрама, 5% молибдена и около 88% железа.

Твёрдые сплавы (ГОСТ3883-74). Твёрдые сплавы получают методами порошковой металлургии. Порошок карбида вольфрама, карбида титана, карбида тантала смешивают со связующим веществом – кобальтом, прессуют в формах, а затем подвергают спеканию при температуре 1500...2000°C. В результате получают пластины, состоящие из карбидных частиц, связанных кобальтом.

Твёрдые сплавы обладают очень высокой твёрдостью (85...92HRC), износостойкостью и теплостойкостью. Рабочая температура резания может быть увеличена до 800...1000°C. Режущие инструменты, оснащённые пластинами из твёрдого сплава, работают с высокой производительностью и обладают высокой стойкостью.

По структуре и природе карбидных фаз твёрдые сплавы могут быть разбиты на три подгруппы:

1) Вольфрамокобальтовые сплавы. Обозначаются буквами «ВК» и цифрами. Цифра после буквы «К» обозначает содержание кобальта в процентах, а остальное карбид вольфрама. Например: ВК4 (4% кобальта и 96% карбида вольфрама), ВК25 (25% кобальта и 75% карбида вольфрама).

2) Титано-вольфрамокобальтовые сплавы. Обозначаются буквами «ТК» и цифрами. Цифра после буквы «Т» обозначает содержание карбида титана в процентах, цифра после буквы «К» – содержание кобальта в процентах, остальное – карбид вольфрама. Например: Т15К6 (15% карбида титана, 6% кобальта, 79% карбида вольфрама).

3) Титано-тантало-вольфрамокобальтовые сплавы. Обозначаются буквами «ТТК» и цифрами. Цифра после букв «ТТ» обозначает суммарное содержание карбидов титана и тантала в процентах, цифра после буквы «К» – содержание кобальта в процентах, остальное – карбид вольфрама. Например: ТТ7К12 (7% карбидов титана и тантала, 12% кобальта, 81% карбида вольфрама).

### § 5.3 Чугуны

Чугун – это сплав железа с углеродом, где содержание углерода более 2%. В зависимости от состояния углерода различают белый чугун, серый чугун, высокопрочный чугун и ковкий чугун. Белый чугун конструкционного значения не имеет.

Все чугуны имеют высокие литейные свойства, антифрикционные свойства, хорошо обрабатываются резанием. Они дешевле сталей.

Серый чугун. Требования к свойствам серого чугуна устанавливает ГОСТ1412-79. В серых чугунах большая часть углерода находится в виде графита, имеющего пластинчатую форму. Он обозначается буквами «СЧ», означающими серый чугун, затем следует число, показывающее предел прочности при растяжении. Например: СЧ10 – серый чугун, предел прочности при растяжении 100 мегапаскалей (10 кгс/мм<sup>2</sup>); СЧ30 – серый чугун, предел прочности при растяжении 300 мегапаскалей (30 кгс/мм<sup>2</sup>).

Серый чугун применяют в машиностроении для изготовления отливок различного назначения, не испытывающих больших нагрузок: корпусов, станин и других. Серый чугун дешевле других чугунов и сталей.

Высокопрочный чугун (ГОСТ7293-85). В высокопрочном чугуне углерод находится в виде шаровидного графита. Он обозначается буквами «ВЧ», означающими высокопрочный чугун, затем следует число, показывающее значение временного сопротивления при растяжении. Например: ВЧ50 – высокопрочный чугун, временное сопротивление при растяжении 500 мегапаскалей (50 кгс/мм<sup>2</sup>).

Высокопрочный чугун применяют для изготовления тяжело нагруженных отливок, например, коленчатые валы, кулачковые валы двигателей внутреннего сгорания.

Ковкий чугун (ГОСТ1215-79). Ковкий чугун кроме хороших литейных свойств способен также испытывать пластическую деформацию. Из него изготавливают отливки, а также обрабатывают давлением – ковкой. В ковком чугуне углерод находится в виде графита, имеющего хлопьевидную форму.

Ковкий чугун обозначается буквами «КЧ» и двумя цифрами. Первая цифра показывает предел прочности при растяжении, вторая – относительное удлинение. Например: КЧ60-3 – ковкий чугун, предел прочности при растяжении 600 мегапаскалей (60 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение 3%, КЧ36-10 – ковкий чугун, предел прочности при растяжении 360 мегапаскалей (36 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение 10%.

Ковкий чугун применяют для изготовления деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках. Также из него возможно изготавливать тонкостенные отливки.

#### § 5.4 Цветные металлы

Медь. Медь обладает высокими электро- и теплопроводными свойствами. Технически чистая медь применяется для изготовления электрических проводников и теплообменных устройств.

Латунь (ГОСТ15527-70, ГОСТ17711-72). Латунь – это группа сплавов меди с цинком. Кроме меди и цинка в латунь могут быть введены олово, свинец, железо, марганец, никель, кремний, алюминий, фосфор, бериллий и др. Латунь широко применяется в приборостроении, общем и химическом машиностроении. Латунь обладает коррозионной стойкостью, ряд марок латуни обладают литейными свойствами или антифрикционными свойствами. Она обрабатывается резанием, ряд марок латуни обрабатывается давлением.

Бронза (ГОСТ5017-74, ГОСТ18175-78, ГОСТ613-79). Бронза – это сплав меди с другими элементами: оловом, железом, алюминием, титаном, свинцом и др. Бронза обладает хорошими литейными, антикоррозийными и антифрикционными свойствами. Она применяется в общем и химическом машиностроении, в приборостроении для изготовления деталей, работающих в условиях трения, в слабокоррозионных средах.

Алюминий (ГОСТ4784-74, ГОСТ1583-89). Алюминий находит очень широкое применение в технике. Используется как технически чистый алюминий, так и его сплавы. Алюминий – лёгкий металл. Он обладает антикоррозийными свойствами, хорошими литейными свойствами (литейные сплавы), обрабатывается давлением (деформируемые сплавы), хорошо обрабатывается резанием, а также разработаны способы сварки алюминия. Технически чистый алюминий используется в электротехнической промышленности. Алюминиевые сплавы, вследствие своей лёгкости, используются в авиационном, транспортном машиностроении, т.е. там, где существуют жёсткие ограничения по массе машин.

Титан и его сплавы (ГОСТ19807-91). Титан обладает малой плотностью в сочетании с очень высокими механическими (прочностью) и антикоррозийными свойствами. Он применяется в химическом машиностроении, в авиационной, ракетной, космической технике.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Приведите определение термина «сталь»?
- 2) Приведите определение термина «чугун»?
- 3) Какие существуют основные классы сталей?
- 4) В какой форме может содержаться в чугунах углерод?
- 5) Какими преимуществами обладают чугуны по сравнению со сталью?
- 6) Какими отличительными свойствами обладает быстрорежущая сталь?
- 7) Из каких компонентов состоят твёрдые сплавы?
- 8) Какими преимуществами обладает алюминий и его сплавы?
- 9) Какие металлы входят в состав бронзы?
- 10) Какие металлы входят в состав латуни?
- 11) Какова область применения латуни?
- 12) Расскажите о принципах классификации легированных сталей?

## Глава 6. Виды термической обработки материалов

Цель термообработки состоит в изменении механических свойств и структуры металла путем воздействия на заготовку температурными полями. Существуют различные виды термообработки.

### § 6.1 Объёмная закалка

Цель объёмной закалки состоит в получении высокой твёрдости материала детали. Сущность объёмной закалки состоит в нагревании стальных заготовок до температуры фазовых превращений (свыше 700°C), выдержке заготовки при этой температуре и последующем быстром охлаждении в воде или в масле. В результате быстрого охлаждения сталь приобретает новую структуру строения, которая называется мартенсит. Мартенсит имеет высокую твёрдость, поэтому и стальная деталь приобретает высокую твёрдость и износостойкость. Нагрев производится в газопламенных или электрических печах.

Объёмной закалке подвергаются стали с высоким содержанием углерода – больше 0,35%. При меньшем содержании углерода необходимых фазовых превращений при остывании стали не происходит. Достижимая в результате объёмной закалки твёрдость различна для разных марок сталей, зависит от количества углерода и легирующих элементов. Диапазон твёрдости 35...62

единицы по шкале Роквелла (35...62 HRC). Например, Сталь 45 закаляется до 40...44 HRC, а быстрорежущая сталь P6M5 до 56...60 HRC.

### § 6.2 Отпуск

Отпуску подвергают закалённые заготовки. Дело в том, что получившийся в результате закалки мартенсит имеет высокую твёрдость, но также имеет неравномерную структуру строения и склонен к хрупкому разрушению от ударных нагрузок, т.е. закалённая деталь может треснуть. Поэтому, проводят ещё одну термообработку, которая называется отпуск. Сущность отпуска состоит в нагревании стальной заготовки до температуры 200...350°C, выдержке при этой температуре и последующем остывании на воздухе. В результате отпуска структура мартенсита становится более равномерной. Твёрдость заготовки несколько снижается, но также снимается склонность к хрупкому разрушению. Деталь остаётся достаточно твёрдой, прочной, износостойкой и несклонной к хрупкому разрушению. Различают низкий, средний и высокий отпуск. Они отличаются температурой нагрева заготовки.

### § 6.3 Цементация

Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода – менее 0,35%. Сущность цементации состоит в следующем. Сначала заготовку из малоуглеродистой стали помещают в углерод содержащую среду (угольную пыль, газовую камеру, угольнокислую соль). Там происходит насыщение поверхностного слоя заготовки углеродом. Глубина насыщения составляет 0,5...4 мм в зависимости от времени выдержки. Сталь поверхностного слоя становится высокоуглеродистой. Затем производят закалку. В результате поверхностный слой заготовки приобретает структуру мартенсита, становится твёрдым, а сердцевина детали остаётся вязкой. Поэтому, такая деталь сочетает

высокую твёрдость, износостойкость поверхностного слоя и вязкую сердцевину, что обеспечивает прочность и несклонность к хрупкому разрушению.

#### § 6.4 Закалка токами высокой частоты

Закалке ТВЧ подвергаются стали с высоким содержанием углерода – свыше 0,35%. В основе этого процесса лежит физический эффект – ток высокой частоты протекает по поверхности проводника. Проводником является заготовка. Через заготовку пропускают высокочастотный ток. Поверхность заготовки разогревается до высоких температур (свыше 700°C) за несколько секунд, а сердцевина остаётся холодной. Затем производят быстрое охлаждение в воде или в масле. В результате поверхность заготовки закаляется и приобретает высокую твёрдость, а сердцевина остаётся вязкой. Поэтому, такая деталь сочетает высокую твёрдость, износостойкость поверхностного слоя и вязкую сердцевину, что обеспечивает прочность и несклонность к хрупкому разрушению.

#### § 6.5 Отжиг

Сущность отжига состоит в нагревании заготовки до температуры 450...650°C, выдержке при этой температуре и последующем медленном охлаждении вместе с печью. Скорость остывания составляет 50...100°C в час. Отжиг применяется для снятия внутренних напряжений материала заготовки, для получения более равномерной структуры строения металла, для исправления дефектов кристаллической решётки металла.

Внутренние напряжения образуются в отливках, сварных заготовках в пластически деформированных заготовках вследствие, например, неравномерного остывания разных участков отливки. Впоследствии, внутренние напряжения могут привести к короблению готовых деталей, т.е. к

искривлению, скручиванию и другим погрешностям формы детали. Соответственно, отжиг позволяет избежать коробления. Отжиг применяется для ответственных, точных деталей: корпусов, станин, длинномерных валов и др.

## § 6.6 Старение

Естественное старение заключается в том, что заготовки с внутренними напряжениями хранятся под открытым небом (под дождём, снегом, ветром и т.д.) в течение длительного времени – от полугода до двух лет. Внутренние напряжения снимаются вследствие естественных процессов релаксации напряжений. Но такие процессы происходят в течение длительного времени, поэтому заготовки хранятся так долго. Естественное старение самый лучший процесс для снятия напряжений, поэтому он применяется для особо точных, ответственных деталей, например, станин высокоточных станков.

Существует также искусственное старение, когда заготовки несколько раз нагревают до температуры 50...150°C и медленно остужают вместе с печью, а затем вновь складывают под открытым небом. В этом случае срок хранения сокращается до 3...6 месяцев. Но естественное старение более эффективно.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Объясните сущность объёмной закалки?
- 2) Каково назначение объёмной закалки?
- 3) Объясните сущность отпуска?
- 4) Чем различаются детали, подвергнутые объёмной закалке и цементации?
- 5) Какой физический эффект лежит в основе закалки токами высокой частоты?
- 6) Какими преимуществами обладает деталь, подвергнутая закалке ТВЧ, по сравнению с деталью, подвергнутой объёмной закалке?
- 7) Каково назначение отжига?

8) Объясните сущность процесса старения?

## **Глава 7. Основы заготовительного производства в машиностроении**

В машиностроении под заготовкой принято понимать полуфабрикат, поступающий на механическую обработку, в результате которой он превращается в годную для сборки деталь. Перед заготовительным производством стоит задача получения заготовок с максимальным приближением к форме и размерам готовой детали, максимально увеличить коэффициент использования металла, т.е. оставить на обработку резанием минимально необходимые припуски и уменьшить количество металла, обращаемого в стружку.

Основными методами получения заготовок являются:

- литьё;
- обработка металлов давлением (пластическое деформирование);
- получение заготовок из проката;
- получение заготовок методом сварки.

### § 7.1 Литейное производство

Литейное производство – это отрасль машиностроения, изготавливающая заготовки или детали (отливки) путём заливки расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию отливки. Рассмотрим некоторые способы литья.

Литьё в земляные формы. Схема литья показана в земле показана на рис. 7.1. На рисунке обозначены 1 – отливка (получаемая заготовка), 2 – каналы для заливки расплавленного металла, 3 – формовочная смесь, 4 – опока (стальной ящик для формовочной смеси), 5 – линия разъёма литейной формы. Сначала изготавливают металлическую или деревянную модель. Эту модель помещают в незатвердевшую формовочную смесь и соединяют две полуформы. Этот процесс называется формовкой. Формовочная смесь состоит в основном из песка и отверждаемой смолы. После затвердевания формовочной смеси полуформы разъединяют, извлекают модель, вновь соединяют две полуформы и в образовавшуюся полость через каналы заливают расплавленный металл. После застывания металла полуформы разъединяют по линии разъёма и извлекают отливку. Формовочная смесь используется один раз, так как при извлечении отливки форма разбивается, рассыпается. Для получения новой отливки необходимо снова производить формовку. Модель используется многократно.

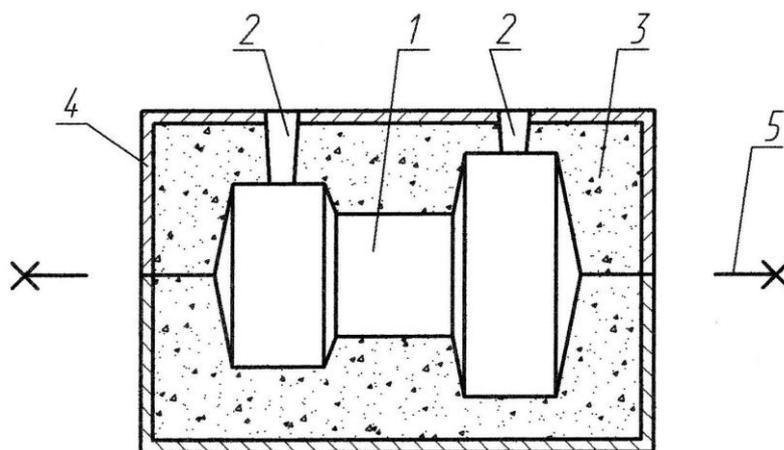


Рис. 7.1 Литьё в земляные формы

Литьё в землю – самый универсальный и распространённый способ литья. Он применяется во всех типах производства (единичном, серийном, массовом) и служит для получения самых различных по массе и конфигурации отливок из любых литейных сплавов.

Литьё по выплавляемым моделям. Этот способ основан на применении моделей из легкоплавких материалов, например, из воска. Схема способа показана на рис. 7.2. На рисунке обозначены 1 – модель, 2 – оболочка, 3 – каналы для заливки расплавленного металла. Сначала изготавливают легкоплавкую модель. Затем эта модель покрывается слоем огнеупорных покрытий. После затвердевания оболочки, производят заливку расплавленного металла, не извлекая модель. При заливке металла модель сразу расплавляется до жидкого состояния и вытесняется из оболочки заливаемым металлом. После застывания металла оболочка разрушается и остаётся отливка требуемой конфигурации.

Данным способом можно получать отливки массой до 150 кг. Преимуществами способа являются отсутствие линии разъёма, более высокая точность и меньшая шероховатость по сравнению с литьём в землю.

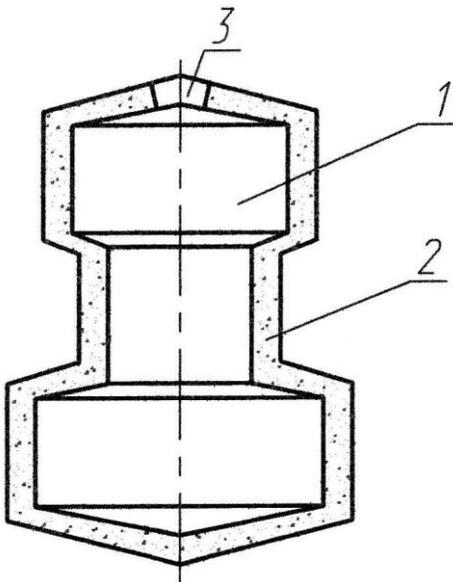


Рис. 7.2 Литьё по выплавляемым моделям

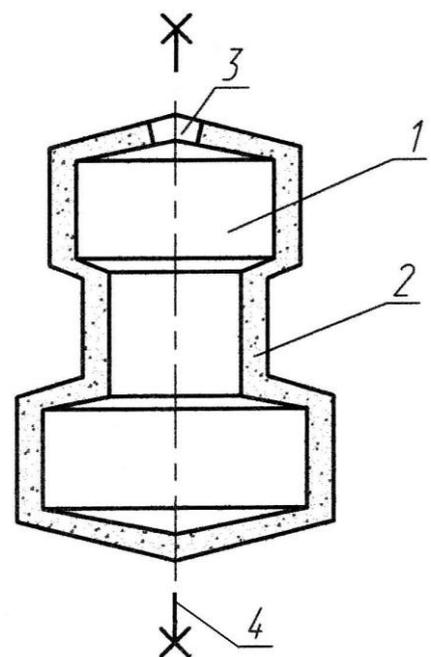


Рис. 7.3 Литьё в оболочковые формы

Литьё в оболочковые формы. Схема способа показана на рис. 7.3. На рисунке обозначены 1 – модель, 2 – оболочка, 3 – каналы для заливки расплавленного металла, 4 – линия разъёма формы. Сначала изготавливается металлическая или деревянная модель, которая покрывается слоем огнеупорных красок и покрытий на основе фенолформальдегидных смол. Толщина покрытия составляет 5...15 мм. После затвердевания покрытия получается оболочка. Она разрезается по линии разъёма, модель извлекается, а две полуформы вновь соединяются. Получается оболочка, внутри которой образуется полость требуемой конфигурации. В эту оболочку заливается расплавленный металл. После застывания металла оболочка разрушается и остаётся отливка требуемой конфигурации.

Данным способом можно получать отливки массой до 150 кг. Преимуществами способа являются более высокая точность и меньшая шероховатость по сравнению с литьём в землю. Модель может использоваться многократно.

Литьё в кокиль. Кокиль – это металлическая литейная форма. Отливки получают путём свободной заливки расплавленного металла в кокиль. Схема способа показана на рис. 7.4. На рисунке обозначены 1 – полость, 2 – детали кокиля, 3 – канал для заливки расплавленного металла, 4 – линия разъёма формы. Перед заливкой внутренние поверхности кокиля обмазывают огнеупорными красками и подогревают до 300...500°C. После застывания металла части кокиля разъединяют и извлекают отливку.

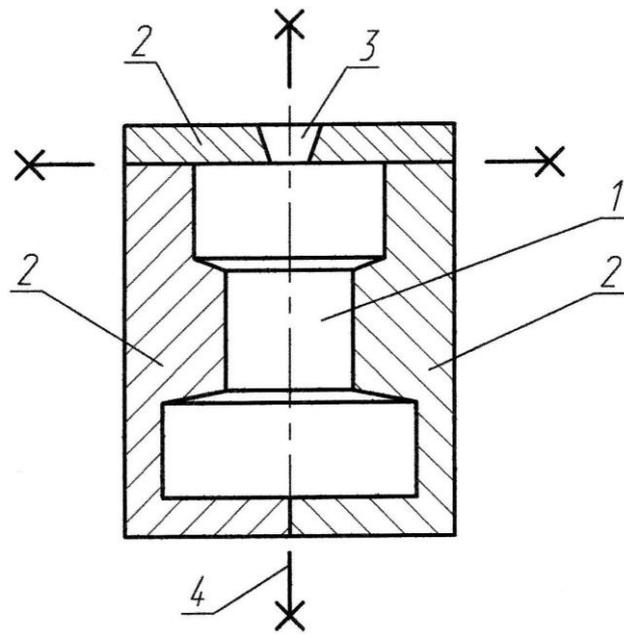


Рис. 7.4 Литьё в кокиль

Стойкость кокиля составляет 300...500 отливок. Точность размеров отливки и качество поверхности значительно выше, чем при литье в землю. Недостатком способа является трудоёмкость изготовления самого кокиля. Поэтому, он используется в серийном и массовом производстве.

## § 7.2 Получение заготовок методами обработки металлов давлением

Обработкой давлением называют процессы получения заготовок и деталей машин методами пластического деформирования материалов. Это деформирование осуществляется силовым воздействием соответствующего инструмента на исходную заготовку из пластического материала.

Ковка. Оборудование – ковочные молоты и прессы. Инструмент называется молот. Он может иметь различную форму. Деформирование исходной заготовки осуществляется при ударном воздействии инструмента. Ковка состоит из чередования основных и вспомогательных операций. К вспомогательным операциям относятся периодический нагрев заготовки и

смена инструмента. К основным операциям относятся:

- 1) осадка – это операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади поперечного сечения;
- 2) протяжка – это операция уменьшения площади поперечного сечения заготовки при увеличении её длины;
- 3) прошивка – это операция получения полостей или отверстий в заготовке за счёт вытеснения металла;
- 4) отрубка – это операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру;
- 5) гибка – это операция придания заготовке изогнутой формы по незамкнутому контуру.

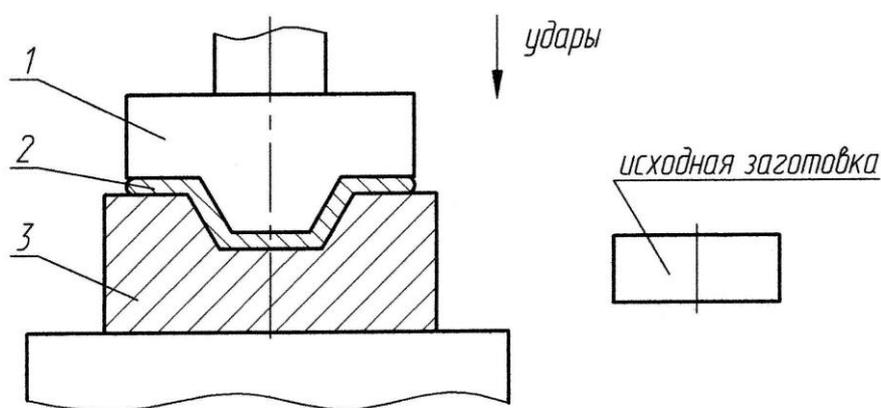


Рис. 7.5 Ковка в подкладных штампах

Для получения ковкой заготовок более сложной формы применяют подкладные штампы (рис. 7.5). На рисунке обозначены: 1 – молот (инструмент), 2 – получаемая заготовка, 3 – подкладной штамп. На рисунке также показана исходная заготовка простой цилиндрической формы. В процессековки молот наносит по исходной заготовке удары, осуществляя основные операцииковки. В результате заготовка принимает конфигурацию подкладного штампа. Причем объём и масса исходной и получаемой заготовки одинаковы.

Ковку применяют во всех типах производства, особенно для получения крупногабаритных заготовок. Точность и качество поверхности заготовки

послековки невысоки: 14...17 квалитет,  $Ra80$ .

Объёмная горячая штамповка. Штамповка выполняется на различных прессах. Инструмент для штамповки называется штамп. Штамп предназначен для изготовления одного вида заготовки или детали. Он состоит из двух или трёх частей: одной неподвижной и подвижных. Неподвижная часть называется матрицей, подвижная – пуансоном. В соединённом состоянии части штампа образуют замкнутую полость определённой конфигурации. Схема штамповки показана на рис. 7.6, где обозначены: 1 – части штампа, 2 – полость, которая заполняется штампуемым металлом, 3 – линия разъёма частей штампа.

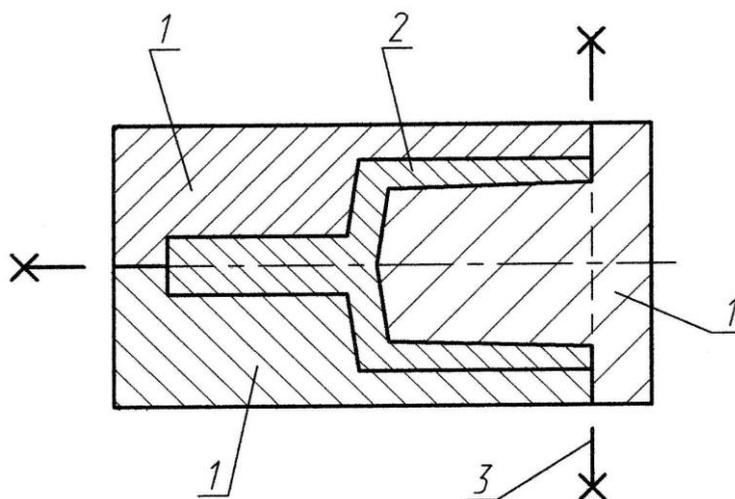


Рис. 7.6 Объёмная горячая штамповка

В качестве исходных для штамповки принимаются заготовки простой формы: цилиндрической, призматической. В процессе штамповки части штампа сводятся вместе, металл исходной заготовки пластически деформируется и принимает конфигурацию полости. Таким образом, в процессе штамповки могут быть получены заготовки сложной конфигурации, с большим приближением к форме будущей детали. Причём объём исходной и получаемой заготовки одинаков.

Штамп – это сложный и дорогостоящий инструмент. В то же время он применяется для получения одного вида заготовок. Поэтому штамповка

применяется в серийном и массовом производстве, где штамп обрабатывает большие партии (сотни или тысячи штук) одинаковых заготовок, и стоимость штампа распределяется на все изготавливаемые им заготовки. Преимущества штамповки: большое приближение формы заготовки к форме будущей детали и, соответственно, высокий коэффициент использования металла на операциях резания; высокая производительность; более высокая точность и качество поверхности по сравнению с операциямиковки. Приближение формы заготовки к форме детали сокращает количество операций обработки резанием и, соответственно, уменьшает стоимость механической обработки.

### § 7.3 Получение заготовок из проката

Металлургическая промышленность выпускает прокат различного профиля из различных марок материалов. На рис. 7.7 показаны некоторые виды проката: а) пруток – это прокат круглого сечения различных диаметров; диаметр  $d$  прутков регламентируется, длина поставляемых прутков не регламентируется и может быть различной: 4 метра, 6 метров и более.

б) прокат шестигранного сечения; регламентируется размер шестигранника  $S$ , диаметр описанной окружности  $D$  – это справочный размер.

в) трубный прокат; регламентируются наружный диаметр  $D$  и внутренний диаметр  $d$ .

г) прокат квадратного или прямоугольного сечения; регламентируется размер  $a$ .

д) листовой прокат; регламентируется толщина листа  $S$ , длина  $a$  и ширина  $b$  листа может быть различной, обычно не менее 1500 мм.

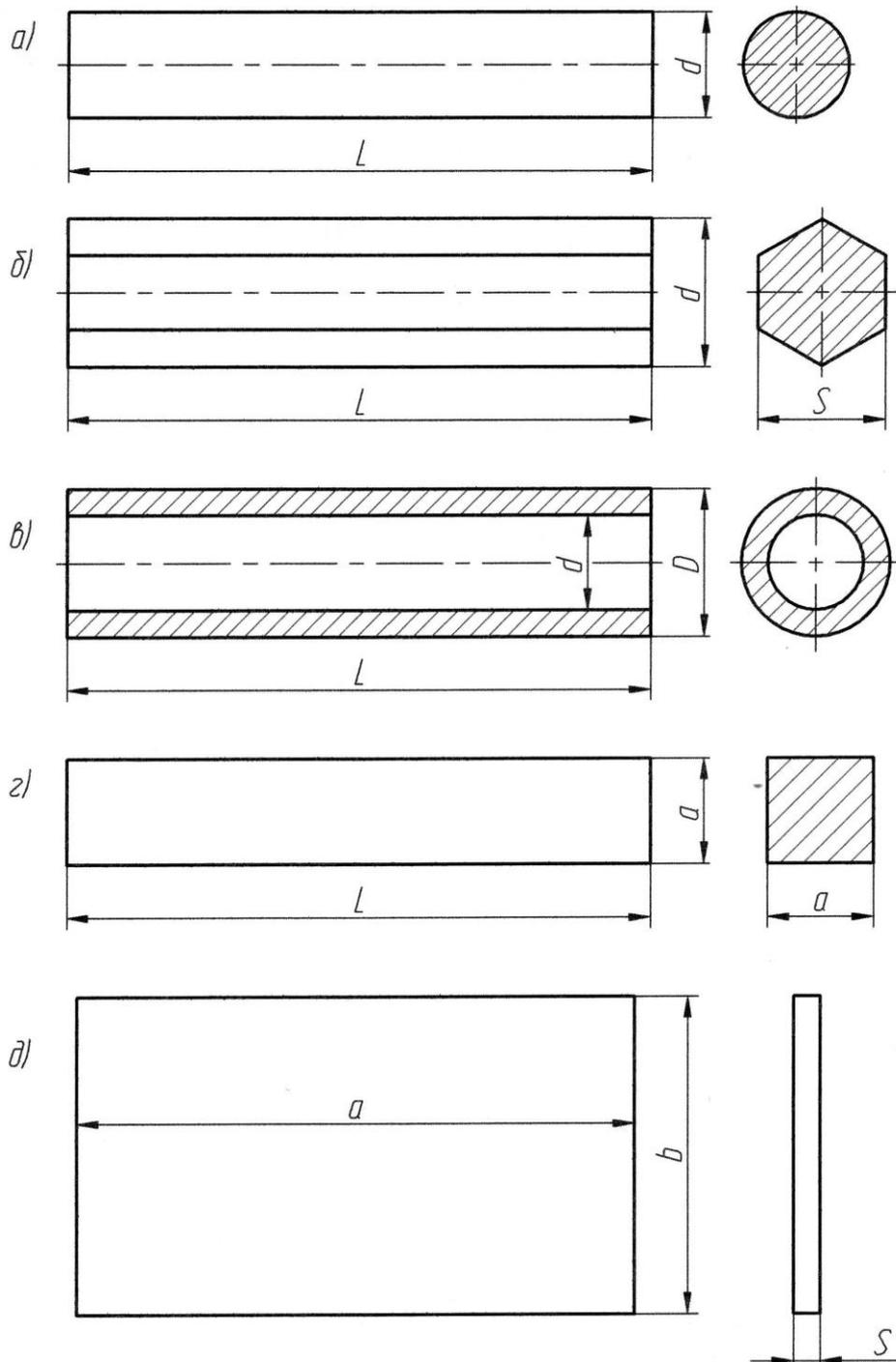


Рис. 7.7 Профили проката

Также существует фасонный прокат более сложного сечения. На машиностроительные предприятия металл поставляется большими партиями. Длина проката может быть различной, обычно от 4 до 9 метров. Для получения конкретной заготовки от проката нужного сечения и размеров отрезается кусок требуемой длины. Например, требуется получить заготовку круглого сечения диаметром 25 мм и длиной 100 мм. Для этого берётся пруток диаметром 25 мм

и от него отрезается заготовка в 100 мм длиной, которая затем поступает на механическую обработку. Для резки металла используются различные способы: резка дисковой или ленточной пилой, резка абразивным кругом, газопламенная резка, плазменная резка, рубка на гильотинных ножницах и др.

Заготовки из проката имеют простую форму. Над ними не производится дополнительных заготовительных операций, поэтому они существенно дешевле штамповок. Но такая заготовка обычно не похожа по форме на будущую деталь. Поэтому, деталь полностью изготавливается методами обработки резанием, что приводит к увеличению числа операций резания, снижению коэффициента использования металла и, соответственно, повышению затрат на механическую обработку. Заготовки из проката используются в единичном и мелкосерийном производстве в тех случаях, когда экономически нецелесообразно изготавливать дорогостоящий штамп и тратить время на подготовку производства.

#### § 7.4 Сварные заготовки

Сварка – это технологический процесс получения неразъёмных соединений из металлов, сплавов и других однородных и неоднородных материалов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых материалов. В качестве исходных заготовок для сварки могут применяться прокат и литьё. Исходные заготовки соединяют друг с другом и сваривают. Вследствие этого сварная заготовка может иметь очень сложную конфигурацию при относительно простой и нетрудоёмкой технологии изготовления.

Вследствие неравномерных температурных полей при сварке и остывании сварные заготовки имеют внутренние напряжения. Поэтому, для снятия напряжений ответственные заготовки необходимо отжигать. Вследствие своей небольшой трудоёмкости и универсальности сварку применяют во всех типах производства. Например, в единичном – для получения заготовок

корпусных деталей; в серийном или массовом – для соединения крупногабаритной и мелкой заготовки, для присоединения к базовой детали различных кронштейнов, проушин.

### § 7.5 Завершающие операции заготовительного производства

В основном к завершающим операциям относятся очистка заготовок от остатков формовочной смеси, пригаров, окалины, а также удаление облоя и литников (излишний металл на заготовке). Для этой цели используются пескоструйная, дробемётная очистка, галтовка и травление.

Пескоструйная очистка – это очистка заготовки струёй песка, подаваемого сжатым воздухом. Песчинки, летящие с большой скоростью, сбивают с заготовки остатки формовочной смеси, грязь, окалину, оставляя практически чистую металлическую поверхность. При дробемётной очистке вместо песка используется стальная или стеклянная дробь (мелкие шарики).

Галтовка используется для мелких и средних заготовок. Заготовки и песок или дробь засыпаются в барабан, который начинает вращаться в разных направлениях. В результате заготовки в барабане очищаются.

Травление – это очистка заготовок кислотой (для стали и чугуна) или щёлочью (для алюминия). Это самый качественный, но дорогостоящий метод очистки.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) В чём состоит сущность процессов литья?
- 2) Как получают литейную форму при литье в землю?
- 3) Из каких материалов изготавливают модель при литье по выплавляемым моделям?
- 4) При каких процессах литья модель используется многократно?
- 5) Какой способ литья является самым универсальным?

- 6) При каком способе литья литейная форма используется многократно?
- 7) Приведите определение термина «кокиль»?
- 8) В чём состоит сущность способов обработки металлов давлением?
- 9) Назовите основные операцииковки?
- 10) Сколько различных конфигураций заготовок или деталей можно получить при помощи одного штампа?
- 11) На сколько изменяется объём металла в процессах обработки давлением?
- 12) В каких типах производства целесообразно использовать поковки? Почему?
- 13) Какие вы знаете профили проката?
- 14) Какими преимуществами обладают заготовки из проката?
- 15) Как получить заготовку из проката?
- 16) Какими преимуществами обладают сварные заготовки?
- 17) Что используется в качестве исходных заготовок для сварных заготовок?
- 18) Какие существуют способы очистки заготовок?
- 19) Сущность пескоструйной очистки?
- 20) Сущность галтовки?

## технологических процессов сборки

### § 8.1 Общие понятия о сборочных процессах

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, характеризующуюся последовательным соединением и фиксацией всех деталей, составляющих ту или иную сборочную единицу или изделие. Фиксацию деталей выполняют при помощи различных видов соединений. Существуют разъёмные и неразъёмные соединения. К разъёмным относятся соединения, которые можно разъединить без нарушения целостности деталей или элементов соединения. К ним относятся:

- резьбовые соединения при помощи болтов, винтов, шпилек и гаек;
- соединения деталей с зазором, шпоночные, шлицевые (эти соединения бывают подвижными и неподвижными).

К неразъёмным относятся соединения, которые нельзя разъединить без нарушения целостности деталей или элементов соединения. К ним относятся сварные, паяные, клеевые, заклёпочные соединения, соединения с натягом, завальцовкой.

Сборочные работы составляют значительную часть общей трудоёмкости изготовления изделий – от 18 до 40% в зависимости от типа производства и конкретного изделия. В машиностроении готовые изделия обычно собирают на том же заводе, где изготавливают детали для этого изделия. Только очень крупногабаритные изделия собирают на месте эксплуатации (подъёмные краны, тяжёлые станки, мощные турбины). Но и в этих случаях большинство узлов собирается на заводе изготовителе, а также производится общая предварительная сборка и производятся испытания.

### § 8.2 Виды работ, выполняемые в сборочном производстве

Основными операциями сборки являются операции соединения сопрягаемых элементов и фиксации их правильного взаимного расположения. У любой сборочной единицы существует базовая деталь, к которой присоединяются все остальные детали и сборочные единицы более высоких порядков. Различают узловую и общую сборку. На узловой сборке полностью собираются самостоятельные узлы (двигатель, редуктор), способные выполнять определённые функции. На общей сборке все узлы и детали, входящие в состав изделия, соединяются вместе в законченное изделие. Например, узлами автомобиля являются двигатель, коробка перемены передач, привод колеса, реечный механизм рулевого управления, тормозные цилиндры и многие другие. Базовой сборочной единицей автомобиля является кузов (сам кузов состоит из множества деталей, соединяемых друг с другом методом контактной сварки). На общей сборке все узлы присоединяются к кузову, и в результате получается готовое изделие – автомобиль.

Электрическая сборка и монтаж. Предметом электромонтажных работ является изготовление токопроводящих соединений, электрических и электромагнитных схем. В состав этих работ входят заготовка соединительных проводов, вязка жгутов, внутренний электрический монтаж и соединение элементов монтажной схемы. Например, в автомобиле по всему кузову прокладываются предварительно заготовленные жгуты электрических проводов. Концы проводов подготовлены для быстрого соединения, т.е. имеют клеммы и контакты. В процессе общей сборки провода подключаются к присоединяемому к кузову электрооборудованию (фары, стартер, электробензонасос, система зажигания, электростеклоподъёмники и др.). Таким образом, электромонтажные работы обеспечивают требуемое соединение электрооборудования, источника тока и органов управления.

Подготовка деталей к сборке. На этих работах выполняются операции,

обеспечивающие лёгкость и качество сборки. Промывка и продувка деталей после механической обработки предназначена для удаления стружки, абразивной пыли, остатков смазочно-охлаждающих жидкостей. После мойки выполняют сушку.

Обрубка и зачистка заусенцев предназначена для удаления мелких дефектов на ограниченных участках поверхности. Эти работы предназначены для облегчения сборки путем подготовки фасок. Заусенцы всегда остаются на кромках деталей после механической обработки вследствие пластических свойств металла. Их можно удалять на дополнительных операциях механической обработки или в процессе подготовки деталей к сборке.

Сверление отверстий и нарезание резьбы предназначено для изготовления крепёжных отверстий, не изготовленных на основных операциях механической обработки. Так поступают в тех случаях, когда требуется точное взаимное расположение нескольких узлов на крупногабаритной базовой детали. Узлы сначала выставляют с требуемой точностью, а затем в необходимых местах сверлят крепёжные отверстия, нарезают резьбу и фиксируют положение узлов.

Подготовку деталей к сборке выполняют на сборочных участках в единичном или мелкосерийном производстве. В крупносерийном и массовом производстве подготовка выполняется в процессе механической обработки, и на сборочные участки детали поступают полностью готовые к сборке.

Технический контроль и испытания изделий. Эти работы также выполняются в сборочном производстве. Целью технического контроля является определение соответствия правильности работы, точности, мощности, скорости, экологичности и других параметров изделия требуемым техническим условиям. В случае выявления несоответствий производится устранение выявленных дефектов, регулировка, подгонка для достижения требуемых параметров. Например, двигатели испытывают на мощность, на чистоту выхлопа, на коэффициент полезного действия. Станки испытывают на

жѐсткость, точность.

### § 8.3 Технологическая организация процессов сборки

В зависимости от типа производства (единичного, серийного и массового) изменяется и организация процессов сборки. В единичном производстве технологические процессы детально не разрабатывают, а делают только наметку последовательности операций и приблизительно определяют рабочее время. Детальная разработка экономически нецелесообразна. Сборка выполняется последовательно, операции не разделяются на более простые переходы. Большинство операций выполняется одной бригадой высококвалифицированных слесарей, способных выполнять различные сборочные работы. Специализация существует только по профессиям, например, слесарь, электрик. Небольшие изделия собираются одним высококвалифицированным слесарем. Такая организация работ называется сборка по принципу концентрации.

Разнообразная номенклатура изделий в единичном производстве не позволяет оснащать сборочные участки специальной высокопроизводительной оснасткой и инструментами. Такую оснастку применяют только в тех случаях, когда без неё невозможно выполнить какую-нибудь сборочную операцию. В основном применяются универсальные ручные инструменты и оснастка, не отличающиеся высокой производительностью. Поэтому, качество сборки зависит от выполняющих её рабочих. В единичном производстве выполняется много подготовительных работ: зачистка заусенцев, пригонка, промывка и т.д.

В серийном производстве изделия выпускаются сериями через определённые промежутки времени. Технологический процесс построен по принципу параллельно-последовательного выполнения операций. Сложные операции разделяются на более простые переходы, различные узлы собираются в различных бригадах. При такой организации работ существует специализация, т.е. некоторые виды работ выполняются одним рабочим или

бригадой. Специализация позволяет значительно повысить производительность труда и привлекать к работам менее квалифицированных рабочих. Выпуск сериями делает экономически целесообразным оснащать сборочные участки специализированной оснасткой, механизированным инструментом, что также значительно повышает производительность труда. Пригоночные и подготовительные работы на сборке стараются исключить.

*В массовом производстве* производят детальную разработку техпроцесса сборки. Специализация сборочных работ наивысшая, т.е. за каждым рабочим местом закреплена одна сборочная операция, что позволяет оснащать рабочие места высокопроизводительной специальной оснасткой, механизированным инструментом, специальными сборочными стендами, в ряде случаев, сборочными линиями. Поэтому, работу могут выполнять рабочие низкой квалификации. Качество сборки в большей степени зависит от применяемого оборудования и инструментов. Такая организация работ называется сборкой по принципу дифференциации. Пригоночные и подготовительные работы на сборочных участках полностью исключаются.

*Стационарная и подвижная сборка.* При стационарной сборке изделие полностью собирается на одном рабочем месте. Все детали, входящие в состав изделия поступают на это рабочее место. Сборка может выполняться одной бригадой (рабочим) или сменяющимися бригадами, которые специализируются по видам работ.

При подвижной сборке изделие последовательно перемещается по всем рабочим местам, на каждом из которых выполняется своя сборочная операция. Перемещение изделия может быть свободным или принудительным. При свободном перемещении изделие перемещается самими рабочими, обычно на тележках. При принудительном – оно перемещается при помощи транспортных устройств, которые называются конвейерами. Конвейер может быть напольный, подвесной, непрерывно действующий и шаговый.

## § 8.4 Оборудование и инструменты, применяемые в сборочном производстве

В сборочном производстве применяется следующее оборудование.

Установочные и зажимные приспособления служат для установки и закрепления собираемых деталей в требуемом для сборки положении, а также для придания устойчивости деталям перед фиксацией и облегчения сборки. Приспособления могут быть универсальными и специальными, с ручным и механизированным приводом в зависимости от типа производства. Эти приспособления: тиски, оправки, струбцины и др.

Рабочие приспособления предназначены для выполнения отдельных операций: например, для установки пружин, уплотнительных манжет, вальцевания, запрессовки и др.

Сборочный инструмент. Это инструмент для выполнения различных соединений: гаечные ключи, отвёртки, молотки, плоскогубцы, клещи и др. Инструмент может быть ручным и механизированным. Например, пневматический или электрический гайковёрт – это механизированный инструмент. Он имеет привод и заворачивает винт или гайку с большой скоростью. Рабочий только подводит гайковёрт к гайке, а усилий для затягивания ему прикладывать не нужно. Кроме того, современные гайковёрты заворачивают гайки с требуемым крутящим моментом, т.е. автоматически обеспечивают качество соединения. В массовом производстве используются сборочные станды. Это такое оборудование, которое соединяет в себе требуемые для выполнения операции установочные, зажимные, рабочие приспособления и механизированный сборочный инструмент. Сборочные станды работают в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Режущий инструмент. Это инструменты для выполнения вспомогательных и подготовительных работ: зачистки заусенцев, сверления

отверстий и нарезания резьбы, клеймения и т.д. К этим инструментам относятся напильники, надфили, зубила, кернеры, свёрла, метчики и др, а также электрические и пневматические дрели, шлифовальные машины и др.

Контрольно-измерительные средства и приборы. Они предназначены для проведения технического контроля и испытаний. Для различных видов контроля существует множество различных средств: щупы, индикаторы часового типа, динамометрические ключи, динамометры, ваттметры, счётчики, координатно-измерительные машины, тахометры и многое другое.

Кроме того, в сборочном производстве используются тележки, конвейеры, различные подъёмно-транспортные устройства, верстаки, сборочные столы, специальные станции (например, станция для нанесения герметика или клея на соединяемые поверхности), оборудование для окраски и др.

#### Вопросы для самоконтроля

- 1) Какие виды работ выполняются в сборочном производстве?
- 2) Какие виды механической обработки могут выполняться в сборочном производстве?
- 3) Какие изделия собирают на общей сборке?
- 4) Какие изделия собирают на узловой сборке?
- 5) Назовите некоторые сборочные инструменты?

## **Глава 9. Основные принципы разработки технологических процессов изготовления деталей машин**

Проектирование технологических процессов изготовления изделий машиностроения имеет целью дать подробное описание процессов изготовления детали с необходимыми технико-экономическими расчётами и установить наиболее рациональный и экономичный способ изготовления изделия. В своей работе инженер-технолог руководствуется положениями ГОСТ 17420-72 «Единая система технологической подготовки производства. Операции механической обработки резанием. Термины и определения».

Технологические процессы разрабатывают при организации производства новых изделий на предприятиях или при коррекции процесса изготовления уже освоенной продукции для реализации конструктивных усовершенствований или рационализаторских предложений. Также технологические процессы разрабатывают при проектировании новых и реконструкции существующих заводов.

Из всех деталей, изготавливаемых в машиностроительном производстве можно выделить ряд основных типов: детали типа «вал ступенчатый», типа «вал-шестерня», типа «втулка», типа «корпус» и др. Проектирование индивидуального технологического процесса изготовления детали осуществляется на базе типового технологического процесса, например: типового технологического процесса изготовления вала-шестерни, корпуса и др. При этом инженер-технолог учитывает множество условий: требования чертежа детали, годовую программу выпуска, материал детали, технологические возможности предприятия, квалификацию рабочих и др.

Технологический процесс должен обеспечить выполнение следующих требований: по точности размеров, формы, взаимного расположения и

шероховатости поверхностей деталей; по качеству материала и поверхностей деталей; по точности сборки; по регулировке и выводу на штатный режим работы машины. Таким образом, спроектированный технологический процесс должен при его осуществлении гарантированно обеспечить выполнение требований, обуславливающих нормальную работу готового изделия. Для достижения этой цели решается комплекс задач.

Выбор рационального метода получения заготовки. При выборе метода получения и конструировании исходной заготовки необходимо стремиться к максимальному сокращению обработки металла резанием путём придания заготовкам наибольшей точности и приближения их по форме, размерам и качеству поверхностей к готовым деталям. Эта задача называется – повышение коэффициента использования металла.

При выполнении этой задачи не только экономится металл вследствие уменьшения припусков, но и значительно уменьшается трудоёмкость обработки резанием, сокращается потребность в металлорежущих станках, технологической оснастке, инструментах и производственных площадях, снижается себестоимость всего процесса изготовления деталей машин.

Заготовки, приближенные по форме и размерам к готовой детали получают методами объёмной горячей штамповки,ковки, литья. Преимуществами таких заготовок является высокий коэффициент использования металла. Но начальная стоимость таких заготовок значительно выше, чем стоимость металла заготовки, так как предприятие несёт определённые затраты на технологический процесс получения таких заготовок: на оплату труда, на штамповую или литейную оснастку, оборудование, энергоресурсы и др. Также требуется время на подготовку технологического процесса получения заготовки.

В ряде случаев (в единичном или мелкосерийном производстве, при недостатке времени на технологическую подготовку) может быть выгоднее использовать заготовки простой формы из проката, несмотря на низкий коэффициент использования металла. Стоимость заготовок из проката

невысока (фактически только стоимость металла). Но при изготовлении деталей из проката значительно повышаются затраты на обработку резанием: повышается трудоёмкость обработки, увеличивается потребность в металлорежущих станках, технологической оснастке, инструменте, обращается в стружку большой объём металла.

Задача технолога состоит в том, чтобы в существующих производственных условиях сравнить различные методы получения заготовок и выбрать экономически наиболее рациональный. Т.е. применить более дорогую заготовку и уменьшить затраты на обработку резанием или применить более дешёвую заготовку, но понести дополнительные затраты на обработку резанием.

Разработка технологического маршрута. Технологический маршрут устанавливает методы обработки поверхностей и последовательность операций. Таким образом, задача технолога состоит в том, чтобы выбрать методы обработки деталей и их последовательность, и гарантированно обеспечивающих качество деталей. На базе технологического маршрута проектируется план обработки детали. План обработки устанавливает теоретическую схему базирования заготовки, операционный эскиз, технические требования к выполняемой операции, предварительный выбор оборудования.

При разработке технологического маршрута технолог должен учитывать технологические возможности предприятия, выбранный метод получения заготовки, возможности по хранению заготовок и готовых изделий, транспортные возможности и др.

Выбор средств технологического оснащения. Задача этого этапа состоит в выборе необходимого оборудования, приспособлений, режущих инструментов и контрольных приспособлений и инструментов для каждой технологической операции. Технологическая оснастка может быть закуплена на специализированных предприятиях или спроектирована и изготовлена на собственных производственных площадях. При выборе оборудования учитываются его технологические возможности, технические характеристики

(размеры обрабатываемых деталей, точность, мощность). Также необходимо экономически обосновать и выбрать степень специализации оборудования: универсальное, специализированное, специальное и оборудование с ЧПУ.

Универсальные станки имеют широкий диапазон обрабатываемых размеров и рабочих режимов, большую мощность, могут оснащаться различными приспособлениями и инструментами, могут быстро перенастраиваться для обработки различных деталей. Но такая универсальность приводит к высокой стоимости станка. Производительность универсальных станков невысока, так как управление станком и вспомогательные действия осуществляются в ручном режиме рабочими высокой квалификации, что требует немалых затрат времени. Только рабочие перемещения инструмента осуществляются механизмами станка. Универсальные станки используются в единичном, мелкосерийном и иногда в серийном производстве.

Специализированные станки имеют узкий диапазон рабочих режимов и обрабатываемых размеров однотипных деталей. Работают в полуавтоматическом или автоматическом режиме, что приводит к высокой производительности, так как все управляющие воздействия и вспомогательные действия осуществляются механизмами станка, настроенными на определённую работу. Стоимость специализированных станков ниже, чем универсальных, а производительность значительно выше. Но они имеют узкие технологические возможности и требуют сложной и длительной наладки на обработку различных деталей. Поэтому, партия обрабатываемых деталей должна быть достаточно большой, чтобы сделать использование специализированного станка экономически выгодным. Наладка выполняется наладчиками высокой квалификации, но работать за станком может оператор невысокой квалификации. Его задача сводится к установке заготовок и снятию готовых деталей. Причём, один оператор может обслуживать несколько станков: пока на одном станке осуществляется обработка, на втором станке оператор выполняет разгрузку-загрузку.

Специальные станки предназначены для обработки только одной детали. Соответственно, программа выпуска данной детали должна быть очень большой (крупносерийное или массовое производство), чтобы сделать закупку специальных станков экономически обоснованной. При прекращении выпуска данной детали, специальные станки становятся ненужными. Специальные станки имеют только один рабочий режим и один обрабатываемый размер, минимально необходимые размеры и мощность, работают в автоматическом режиме с очень высокой производительностью. Их стоимость значительно ниже стоимости универсальных станков.

Из специальных и специализированных станков может быть составлена автоматическая линия изготовления детали. Необходимые станки располагаются в технологической последовательности (в соответствии с маршрутом обработки) и соединяются конвейером, при помощи которого производится передача заготовок по технологической цепи. Обработка на автоматических линиях отличается очень высокой производительностью и невысокой себестоимостью обработки. Но конструирование автоматической линии и технологическая подготовка производства требует затрат времени и финансовых средств на проектирование.

Станки с числовым программным управлением сочетают высокую производительность, широкие технологические возможности и универсальность, но имеют очень высокую стоимость. Управление станком осуществляется управляющей программой, вводимой в устройство числового программного управления. Траектория движения инструментов, режимы резания, смена инструментов, закрепление и раскрепление заготовки и другие рабочие и вспомогательные действия осуществляются в автоматическом режиме по управляющей программе, что обеспечивает высокую производительность. Для обработки другой детали в устройство ЧПУ вводится новая программа.

Станки с ЧПУ требуют высокой организации производства. Их простой приносит значительные убытки. Станок может простаивать только в короткий

период ввода новой программы и наладки. Управляющие программы пишутся отдельно от станка технологами программистами. Наладка осуществляется высококвалифицированными наладчиками. За станком может работать оператор невысокой квалификации, задачей которого будет только установка заготовок и снятие обработанных деталей со станка. Причём один оператор может одновременно обслуживать несколько станков с ЧПУ.

На основе станков с ЧПУ может быть скомплектована линия изготовления детали. Каждый станок выполняет определённую операцию. После выполнения всех операций с ЧПУ будет получена готовая деталь. Передача заготовок между станками осуществляется партиями, при помощи технологического транспорта (автопогрузчики, пикапы, тракторы).

Так как станки с ЧПУ могут быстро переналаживаться на обработку другой детали путём ввода новой управляющей программы, то и вся линия станков с ЧПУ может быть быстро переналажена на выпуск новой детали. Такие линии называют гибкими производственными системами (ГПС). ГПС обладают высокой производительностью и универсальностью. Предприятие, оснащённое ГПС, способно быстро налаживать выпуск продукции, востребованной рынком. Но ГПС требуют высокой организации производства, квалификации инженеров-технологов и наладчиков. Простой ГПС или ошибки в проектировании технологических процессов приводят к существенным убыткам.

*Разработка технологических операций.* На данном этапе разрабатывается каждая операция технологического процесса. Инженер-технолог выбирает схему построения операций и выполнения технологических переходов, производит расчёт точности получения размеров, назначает режимы резания (скорость основного движения резания, скорость движений подач, припуск на обработку), уточняет средства технологического оснащения.

В единичном и мелкосерийном производстве для сокращения временных затрат на технологическую подготовку производства целесообразно назначать режимы резания по справочникам. Данный способ обеспечивает среднюю

производительность металлорежущих операций, так как справочники должны обеспечивать режимы резания, подходящие для любых условий обработки, а потому учитывают самые неблагоприятные условия и, соответственно, снижают скорости рабочих движений. К условиям обработки относятся: механические свойства обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента, требуемая точность и шероховатость обработанной поверхности, жёсткость технологической системы станка, вид и состояние заготовки, наличие охлаждения зоны резания, мощность и кинематические возможности станка, требуемая стойкость инструмента и др.

В крупносерийном и массовом производстве режимы резания назначаются расчётным путём. Такой способ значительно более трудоёмкий и требует дополнительных затрат времени на технологическую подготовку производства, но позволяет назначить максимально возможные режимы резания для конкретных условий обработки. Это обеспечивает высокую производительность металлорежущих операций, что является одним из основных условий снижения себестоимости механической обработки. В крупносерийном и массовом производстве выгоднее затратить время на детальную разработку операций, чтобы обеспечить максимальную производительность при изготовлении деталей.

На основе режимов резания производится нормирование операций, т.е. определение затрат времени на выполнение каждой операции и общего времени изготовления детали. При нормировании определяется:

- машинное время – это время непосредственной работы станка, когда срезается стружка;
- вспомогательное время – это время на закрепление и раскрепление заготовки, контроль детали, смену инструмента, холостые ходы и другие вспомогательные действия;
- подготовительно-заключительное время – это время на подготовку партии деталей к запуску в производство;

– оперативное время – это время выполнения конкретной технологической операции;

– штучное время – это общее время изготовления одной детали.

Нормирование операций также может производиться по справочникам, нормативам предприятия или расчётным путём.

Определяются операционные размеры и настроечные размеры станка. Операционный размер – это размер поверхности детали, который нужно получить после выполнения операции технологического процесса. Окончательный размер поверхности детали (размер по чертежу) должен быть получен после финишной операции для данной поверхности. Операционные размеры промежуточных операций учитывают припуск на последующие операции и отличаются от окончательного размера поверхности.

Настроечный размер станка – это размер, на который настраивается вершина инструмента для выполнения обработки. Настроечные размеры отличаются от операционных. Дело в том, что при механической обработке элементы технологической системы станка деформируются под действием сил резания на некоторую величину. Вследствие этого явления размер поверхности после обработки отличается от настроечного размера станка (от нескольких микрон до десятых долей миллиметра). Задача технолога состоит в том, чтобы, используя специальные методы расчёта, определить настроечные размеры по заданным операционным размерам.

Оформление технологических документов. Спроектированный технологический процесс оформляется в виде технологических документов стандартных форм. В результате составления технологической документации инженерно-технический персонал и рабочие получают необходимые данные и инструкции для реализации разработанного технологического процесса на предприятии. Виды документов, используемых при проектировании технологических процессов обработки резанием, регламентированы ГОСТ 3.1404–86. Это маршрутные карты, карты эскизов и операционные карты. В них содержится информация о технологическом маршруте, оборудовании,

технологической оснастке, инструментах, операционном времени, операционных размерах, наличии охлаждения и др. Маршрутные карты и карты эскизов применяются в единичном и мелкосерийном производстве.

Операционные карты содержат подробную разработку технологических операций и применяются в серийном, крупносерийном и массовом производстве. Операционные карты также содержат операционный эскиз, информацию о настроечных размерах, режимах резания.

Спроектированный технологический процесс является основанием для организации снабжения основными и вспомогательными материалами, календарного планирования, технического контроля, инструментального и транспортного обеспечения, для определения необходимых производственных площадей, энергетических ресурсов, рабочей силы, а также для расчёта капитальных затрат и себестоимости изготовления детали или изделия в целом.

#### Вопросы для самоконтроля

- 1) Назовите основные этапы проектирования технологического процесса?
- 2) Как различается оборудование по уровню специализации?
- 3) Какими характеристиками обладают универсальные станки?
- 4) В каких типах производства целесообразно использовать специальные станки?
- 5) Как осуществляется управление станком с ЧПУ?
- 6) Каково содержание этапа «проектирование технологических операций»?
- 7) Как влияет заготовка на себестоимость изготовления детали?
- 8) Какие виды затрат времени определяются при нормировании операций?

## Заключение

В учебном пособии были рассмотрены основные вопросы, связанные с современным машиностроительным производством. Отличительной особенностью пособия является его адаптация для студентов экономических специальностей. После освоения изложенного учебного материала специалисты знают основные понятия машиностроительного производства, теорию базирования, методы обработки и закономерности формирования свойств изделий, средства технологического оснащения производства, принципы проектирования технологических процессов изготовления деталей и сборки машин.

В учебном пособии были изучены разделы, рекомендованные примерной рабочей программой дисциплины, одобренной отраслевой секцией УМО по экономике и управлению на предприятиях машиностроения.

После освоения курса «Основы технологии машиностроения» специалисты экономических специальностей способны качественно производить анализ экономического состояния предприятия и оценивать влияние, оказываемое техническим и технологическим состоянием предприятия на экономические показатели, знают роль технологических процессов в формировании себестоимости изделий, понимают закономерности взаимодействия техники и экономики.

## Литература

1. Боровков В.М. Заготовки в машиностроении: учеб. пособие / В.М. Боровков, А.С. Черемисин. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2007. – 87 с.
2. Данилевский В.В. Технология машиностроения / В.В. Данилевский. – М.: Высшая школа, 1984. – 416 с.
3. Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч.1. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – Л.: Машиностроение, 1982. – 543 с.
4. Ключко С.Л. Введение в специальность: учеб. пособие для вузов. В 3-х ч. Ч.1. Сущность, значение и виды обработки металлов давлением (ОМД). Теория ОМД / С.Л. Ключко. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2006. – 62 с.
5. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
6. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
7. Станочные приспособления: справочник. В 2-х т. Т.2 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 656 с.

8. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, А.Ф. Вязов и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.

9. Технология машиностроения. В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.

10. Тихонов А.К. Классификация, маркировка и применение металлических конструкционных материалов: методические указания / А.К. Тихонов. – Тольятти, Изд-во ТолПИ, 1997. – 47 с.