

**С. К. ТОЙГАМБАЕВ К. А. ШАВАЗОВ Н.К. ТЕЛОВОВ**

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

**Ташкент 2021**

**ISBN 978-5-89231-231-8**

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

**С. К. ТОЙГАМБАЕВ, К. А. ШАВАЗОВ, Н. К. ТЕЛОВОВ.**

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

***УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ***

*Рекомендовано УМО по образованию в области природообустройства  
и водопользования в качестве учебного пособия для студентов высших  
учебных заведений обучающихся по специальности 190207-  
«Машины и оборудование природообустройства  
и защиты окружающей среды»*

**Ташкент 2021**

ББК 40.72я73  
УДК 631.3.004.67(075.8)  
073

*Рецензенты:*

Профессор кафедры технология и машиностроение  
Московского государственного агроинженерного университета  
им. В.П. Горячкина  
*А.М. Колокатов*

Профессор, заведующий кафедрой строительных и мелиоративных машин  
Московского государственного университета природообустройства  
*Ю. Г. Ревин*

С.К. Тойгамбаев, К.А. Шавазов, Н.К. Теловов 2021  
Основы технологии изготовления деталей транспортных  
и технологических машин. Учебное пособие. / Под. Ред. Проф.  
С.К. Тойгамбаева –Т.: ТИИМСХ, 2021. 238с.  
**ISBN 978-5-89231-231-8**

В учебном пособии даны общие понятия о производстве черных и цветных металлов, описаны технологические процессы обработки и производства транспортных и технологических машин.

Учебное пособие предназначено для студентов технических ВУЗов, инженерных работников занятых в сфере транспортных и технологических машин.

**ISBN 978-5-89231-231-8**

С.К. Тойгамбаев, К.А. Шавазов,  
Н.К. Теловов 2021

ФГОУ ВПО «Ташкентский институт  
инженеров ирригации и механизации  
сельского хозяйства» 2021.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из условий развития машиностроения в нашей стране является постоянное повышение конкурентоспособности ее продукции на внутреннем и внешнем рынках. Это достигается лишь совершенствованием выпускаемых изделий по конструктивным и эксплуатационным качествам. Современное машиностроение характеризуется тем, что доля продукции, выпускаемой небольшими сериями или единичными экземплярами, непрерывно увеличивается. Это объясняется достаточно быстрым изменением спроса на то или иное изделие в зависимости от его служебных характеристик качества изготовления. Рынок требует создания машин с повышенной производительностью, быстротой, снижением весовых и габаритных показателей, а также уменьшением эксплуатационных затрат. Все это влечет за собой использование высокопрочных, имеющих специальные свойства, конструкционных материалов, совершенствованием технологии производства, начиная от заготовок и кончая сборочными и контрольными операциями. На первый план выдвигаются вопросы разработки и внедрения малоотходной и мало операционной технологии изготовления деталей, использование заготовок близких по форме и размерам к готовым изделиям.

На современном этапе своего развития машиностроение характеризуется стремлением к автоматизации как разработки нормативно-технической и технологической документации создания новых изделий и совершенствования существующих, так и самого производственного процесса изготовления этих изделий. Автоматизация означает применение качественно новых подходов к проектированию и созданию продукции, позволяющей быть конкурентной на рынке сбыта.

При изготовлении транспортных и технологических машин используются тысячи деталей самых разнообразных форм и размеров. Их производство осуществляется от мелкосерийного до массового с применением самого разнообразного технологического оборудования и технологических процессов.

Несмотря на большое разнообразие деталей, используемых при производстве этих машин, значительная часть их состоит из типовых деталей, таких как валы, корпуса, зубчатые колеса, втулки, рычаги и т.д.

Учитывая свойства типизации деталей, применяемых при производстве транспортных и технологических машин, широко используются уже известные отработанные технологические процессы, значительно сокращая время и себестоимость их изготовления.

Данное учебное пособие может быть использовано студентами высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки (специальностям) 190207 - "Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды".

Учитывая недостаточное количество соответствующей учебной и специальной литературы, в настоящее учебное пособие включены вопросы, связанные с производством типовых деталей машин и основами сборки узлов и агрегатов.

## ГЛАВА 1

### ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

#### 1.1. Основные процессы получения черных и цветных металлов

Согласно промышленной классификации металлы делятся на две основные группы: черные и цветные. К черным металлам относится железо и его сплавы (чугун, сталь, ферросплавы), а также марганец и хром. Все остальные металлы объединены в общую группу цветных, которая в свою очередь подразделяется на легкие (алюминий, магний, титан и др.), тяжелые (медь, никель, свинец, цинк, олово и др.), благородные (золото, серебро, платина), а также редкие и радиоактивные металлы.

В производстве металлов 90% составляют железо и его сплавы в связи с их высокими физическими и механическими свойствами, а также широкому распространению в природе железных руд и сравнительной простоте и дешевизне производства чугуна и стали.

Увеличение применения цветных металлов обусловлено их особыми физико-механическими и другими свойствами, которые не обладают сплавы на железной основе.

Металлы из-за их большой химической активности в природе находятся в виде химических соединений, входящих в состав различных минеральных пород. Исключение составляют химически стойкие самородные металлы золото, платина, серебро и реже - медь.

Извлечение металлов из руд представляет собой процесс восстановления их из химических соединений и отделения от пустой породы (глинозема, кремнезема, известняка и других).

Существует ряд технологий извлечения металлов из руд, среди которых наибольшее применение имеют следующие способы:

- *пирометаллургический процесс* - основанный на плавлении руд и извлечении из них металлов в жидком состоянии (чугун, медь);
- *гидрометаллургический процесс* - основанный на выщелачивании металлов

из руд с помощью растворителей и последующем осаждении их химическим путем или электролизом (медь, драгоценные металлы);

- *электрометаллургический процесс* - основанный на плавлении руд в электропечах или электролиз металлов из растворов солей (алюминий, магний, чистая медь).

Кроме перечисленных основных способов металлы и сплавы получают методом порошковой металлургии, плазменным и другими процессами.

## **1.2. Производство чугуна**

### **1.2.1. Характеристика чугунов**

*Чугуном называют* железоуглеродистые сплавы, в которых более 2,14 % углерода. Они имеют высокие литейные свойства и низкую пластичность. В чугуне, кроме углерода, содержатся постоянные примеси: кремний, марганец, сера и фосфор. В зависимости от состояния углерода и свойств сплава различают белые, серые, высокопрочные, ковкие и специальные чугуны.

*Белые чугуны.* В белом чугуне весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида железа. Такой чугун в изломе имеет белый цвет и характерный металлический блеск. Белые чугуны используют как передельные в ковкий чугун и для изготовления износостойких деталей.

*Серый чугун.* В серых чугунах углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме пластинчатого графита. Из-за наличия графита в изломе такие чугуны имеют серый цвет. Кристаллизация графита в сплавах железа с углеродом называется графитизацией. Графит может кристаллизоваться из жидкой фазы при затвердевании чугуна и из твердой фазы из аустенита при охлаждении.

Углерод и кремний способствует графитизации. Содержание кремния в чугунах колеблется от 0,5 до 4,5 %. Марганец содержится в чугунах от 0,4 до 1,3% и препятствует графитизации (от-беливает чугун). Сера нежелательный элемент, она уменьшает жидкотекучесть и способствует отбеливанию чугуна. Содержание серы допускается не более 0,08...0,12%. Фосфор является полез-

ным элементом, так как улучшает жидкотекучесть, увеличивает твердость и износостойкость чугуна. Содержание его в чугунах колеблется от 0,3 до 0,8%.

Серый чугун широко применяется в конструкциях транспортных и технологических машинах. Его легко обрабатывать режущим инструментом, он обладает хорошими демпфирующими и антифрикционными свойствами.

Маркируется серый чугун по ГОСТ 1412 буквами СЧ и цифрами, которые обозначают предел прочности при растяжении, например СЧ-12,  $\sigma_B = 120$  МПа (12 кгс/мм<sup>2</sup>).

**Высокопрочный чугун.** В высокопрочном чугуне графитовые включения имеют шаровидную форму. Это достигается модифицированием чугуна магнием (до 0,5 %). Шаровидные и изолированные включения графита способствует повышению прочности и пластичности чугуна. Высокопрочный чугун используется для изготовления коленчатых валов, зубчатых колес, кронштейнов и других деталей машин.

Маркируется высокопрочный чугун по ГОСТ 7293 буквами ВЧ и цифрами, которые обозначают предел прочности на разрыв. Например, ВЧ-42 ( $\sigma_B = 420$  МПа).

**Ковкий чугун.** В ковком чугуне графит находится в форме хлопьев, полученные специальной термической обработкой - отжигом белого чугуна, что придаст чугуну вязкость и прочность.

Ковкий чугун используют для изготовления деталей, которые в процессе работы испытывают ударные нагрузки. Маркируется ковкий чугун по ГОСТ 1215 буквами КЧ и цифрами, которые обозначают предел прочности при растяжении. Например, у чугуна КЧ-30  $\sigma_B = 300$  МПа.

**Специальные чугуны.** К специальным относятся износостойкие, жаростойкие и коррозионностойкие чугуны.

**Износостойкий чугун** обладает высокой сопротивляемостью изнашиванию. В зависимости от условий работы их делят на фрикционные, фосфористые, для поршневых колец, антифрикционные и отбеленные.



**Фрикционный чугун** имеет высокий коэффициент трения, износостойкость и способность противостоять образованию задиров в большом интервале температур. В качестве фрикционного чугуна служит серый и ковкий чугун с перлитной основой. Никель, хром и молибден и другие легирующие элементы увеличивают прочность и износостойкость

**Фосфористый чугун** для поршневых колец состоит из мелкого пластинчатого перлита и сочетает износостойкость и прирабатываемость с высокой упругостью.

**Антифрикционные чугуны** предназначены для работы в подшипниковых и узлах трения. Эти чугуны должны обладать хорошей прирабатываемостью при трении по металлу. В качестве антифрикционных материалов применяются серые, высокопрочные, ковкие нелегированные и легированные чугуны марок АСЧ-1, АСЧ-2, АСЧ-3; АВЧ-1, АВЧ-2, АКЧ-2 и др. (ГОСТ 1585)

**Отбеленный чугун** на определенную глубину с поверхности представляет собой белый или половинчатый чугун, а в сердцевине серый. Такой чугун используется для изготовления деталей, повышенной износостойкости. Отбеленный слой на чугунных отливках, получают ускоренным охлаждением их поверхностей, например отливкой в металлические формы.

**Жаростойкие чугуны** хорошо сопротивляются окислению. Применяют чугун с высоким содержанием алюминия (марка ЖЧЮ-22) или с добавкой хрома (марки ЖЧХ-1,5, ЖЧХ-30) (ГОСТ 7769).

**Коррозионностойкие чугуны** марки ЧНХТ, ЧН15Д7Х2 и др. (ГОСТ 11849) работают в агрессивных средах, их легируют алюминием, хромом, никелем, медью.

### **1.2.2. Исходные материалы для производства чугуна**

Прежде чем говорить о технологии производства чугуна необходимо четко представлять о каком чугуне идет речь. Машиностроители при изготовлении деталей из чугуна для транспортных и технологических машин используют только *литейный чугун* различных модификаций и состава - серый чугун (СЧ), высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), белый чугун (БЧ),

ковкий чугун (КЧ), легированные чугуны (алюминиевый, хромовый, никелевый, кремнистый, марпищовый) со специальными свойствами. При выборе материала чугуна для конструкции детали автоматически подразумевается, что речь идет о литейном чугуне. Но кроме литейного чугуна существуют еще две разновидности чугуна: пердеельный чугун и чугун, который чаще всего называют не чугуном, а ферросплавом. И все три разновидности чугуна получают в доменной печи. Поэтому, когда говорят о чугуне, надо четко оговаривать о какой разновидности чугуна идет речь. Если используют просто слово "чугун", то подразумевают доменный чугун, не подразделяя его на разновидности.

*Доменный чугун*, который имеет пониженное содержание кремния ( $<0,5\%$ ) идет на переработку в сталь и его называют предельным чугуном. Доля предельного чугуна в выпуске чугуна доменной печью составляет 80... 85%.

Доменный чугун с повышенным содержанием кремния (до 3,75%) применяют для получения заготовок при литейном производстве и его называют литейным чугуном. Доля литейного чугуна в выпуске чугуна доменной печью составляет Ю... 15%.

Доменный чугун с высоким содержанием кремния (9... 18%) относят к ферросплавам и их доля в выпуске чугуна доменной печью составляет 1.. .2%.

До настоящего времени практически весь доменный чугун получают из железных руд. Сущность доменного процесса состоит в:

- 1) восстановлении железа из окислов железных руд;
- 2) насыщения его углеродом и получения жидкого чугуна опхимического состава;
- 3) оплавление пустой породы руды, с образованием шлака,
- 4) растворения в шлаке золы кокса, частично серы и последующее удаление шлака

Для получения чугуна доменным процессом необходимо иметь железную руду, топливо и флюсы.

**Железные руды.** В доменном процессе применяют следующие железные руды (естественно, не сами руды, а продукты их предварительной обработки):

- *магнетит* ( $Fe_3O_4$ ) - магнитный железняк. Состав руды - 55...60%  $Fe_3O_4$ , 0,2...2,5% серы, 0,02...0,7% фосфора, остальное пустая порода, состоящая из бокситов (глины) и песка;

- *гематит* ( $Fe_2O_3$ ) - красный железняк. Состав руды - 50... 60%  $Fe_2O_3$ . Часто содержание серы и фосфора ниже, чем в магнитных железняках.

- *лимонит* ( $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) - бурый железняк. В его составе 37...40% Fe с большим количеством влаги и повышенным содержанием фосфора (до 1,5%).

Железная руда содержит значительное количество пустой породы, от которой ее освобождают в процессе обогащения железной руды на горнообогатительных фабриках (комбинатах).

Обогащение железных руд состоит из следующих стадий:

- дробление руды до 25 мм крупности,
- измельчение раздробленной руды до 0,5... 1 мм крупности,
- электромагнитное разделение измельченной руды на железный концентрат (выход до 60%) и, так называемые, "хвосты" (пустая порода),
- мокрая магнитная сепарация,
- сушка измельченного концентрата.

Так как для оптимального процесса получения чугуна в шихте для доменной печи должны быть железосодержащие куски размером 30... 80 мм, то измельченный железный концентрат подвергается процессу "агломерации". Под данным процессом понимают процесс спекания смеси, состоящей из железного концентрата 0,5...1 мм крупности, кокса (коксовой мелочи), измельченного известняка и увлажненной колошниковой пыли при температуре 1400 С. Спекание такой смеси производят на специальных агломерационных машинах. За счет тепла, выделяемого при горении топливной части смеси, она опекается в пористую массу, которая затем подвергается дроблению до заданных размеров.

При использовании агломерата в доменных печах снижается расход кокса, повышается производительность процесса получения чугуна. В связи с этим стремятся использовать железную шихту, состоящую из 100% агломерата.

За сутки агломерационная машина может выдать от 1,5 до 10 тыс. тонн агломерата. При агломерации сера удаляется из исходных материалов смеси на 98... 99%. Фосфор практически не удаляется.

В последние годы для доменного процесса все шире стали использовать железный концентрат в виде окатышей. Это связано с тем, что возрастает количество рудных материалов, подвергающихся глубокому обогащению, а, следовательно, тонкому измельчению. Процесс изготовления окатышей состоит из 2-х основных последовательных процессов:

- 1) измельчение железного концентрата до 0,1 мм крупности и
- 2) получения сырых комков (окатышей) из измельченного железного концентрата и последующего их обжига при температуре 1200... 1300 С.

Для лучшего окомкования в железный концентрат добавляется мелкодисперсная бетонитовая глина (0,3... 1,5%), известь, хлорный калий и вода в качестве связующих веществ. Увлажненная смесь поступает в грануляторы, где она при круговом движении и под связывающим действием бетонита постепенно превращается в комки. При достижении размеров комков до 20 мм они выгружаются и поступают на обжиг и охлаждение.

Если в смесь для приготовления окатышей добавляется известь (как правило), то они называются офлюсованные окатыши, если нет, то окисленные окатыши. В целом окатыши прочнее агломерата, при перевозке не рассыпаются, долго хранятся и их применение предпочтительнее, особенно когда фабрика изготовления окатышей находится далеко от металлургического завода.

**Топливо.** Металлургическое топливо используется для:

- получения высоких температур в печах (и не только в домне) и
- непосредственного участия в химических процессах восстановления металлов.

К металлургическому топливу предъявляются следующие требования:

- 1) высокая теплота сгорания;
- 2) низкое содержание золы и влаги;
- 3) низкое содержание вредных примесей - серы, фосфора;
- 4) низкая стоимость.

Основным топливом для доменного процесса является каменноугольный кокс. Он прочен, не растрескивается при нагревании, обладает высокой пористостью и реакционной способностью. Содержит 0,5... 1,8% серы и 6... 12% золы. Кокс получают из специальных каменноугольных коксующих углей, содержащих до 25% летучих веществ (смола, газы).

Процесс коксования производится длительным (до 15 час.) нагреванием коксующего угля без доступа воздуха при температуре 1000...1100°C.

В результате коксования происходит удаление летучих веществ, а твердая масса угля спекается и образует пористое топливо - кокс.

Массовое содержание углерода в коксе обычно составляет 82...90%. Пористость кокса должна составлять 50...55%. Более плотный кокс не пригоден для доменного процесса и его применяют в вагранках (так называемый литейный кокс). Реакционная способность кокса определяется способностью содержащего в нем углерода к взаимодействию с диоксидом углерода по реакции  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ . Температура воспламенения кокса составляет 600...750°C.

Для снижения расхода кокса и ускорения процесса выплавки чугуна при доменном процессе используется (вдувается) подогретый до 1000...1200°C воздух, обогащенный до 30% кислородом и природным газом.

В результате взаимодействия кислорода воздуха с шихтой образуется доменный газ, который после очистки от пыли используется для подогрева воздуха через воздухонагреватели.

Пыль, полученная от очистки доменного газа, называемая колошниковой пылью, используется в агломерации.

**Флюсы.** Флюсы используются для оплавления пустой породы руд и золы топлива с образованием низкоплавкого шлака, а также для частичного перевода серы в шлак. Так как чаще всего пустая порода железных руд содержит пре-

имущественно  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и имеет кислотный характер, то в качестве флюсов применяют материалы, имеющие основные оксиды.

При выплавке чугуна в качестве флюса используют известняк, содержащий карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  или доломитизированный известняк, содержащий  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Если порода руды имеет основной характер, то в качестве флюса используется кварц (песок, содержащий до 2% глинистой составляющей) и другие песчаносодержащие материалы. Флюсы перед плавкой подвергаются дроблению на куски размером 30...80 мм.

В настоящее время одним из существенных усовершенствований технологии доменной плавки является введение флюсов в состав агломерационной шихты. Таким образом, исключаются дополнительные затраты тепла, требовавшиеся ранее на разложение известняка непосредственно в доменной печи, снимаются также требования к известняку относительно его механической прочности и кусковатости.

### **1.2.3. Технологический процесс получения чугуна**

Процесс получения чугуна осуществляется в доменной печи шахтного типа (рис. 1). В верхней цилиндрической части печи - колошнике - находится засыпной аппарат 1, с помощью которого в определенной последовательности с интервалом 1,5... 2 мин. засыпают отдельно элементы шихты (агломерат или окатыши, кокс, флюсы). В колошнике через газоотводы 2 улавливается доменный газ.

Шахта имеет форму усеченного конуса, расширяющейся книзу, что обеспечивает равномерное опускание шихтовых материалов, их рыхление и перемещение по мере плавления шихты в нижней части доменной печи. Высота шахты более 20 метров.

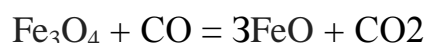
Внутри шахты огнеупорная кладка 3, снаружи – стальной кожух 4. Шахта опирается на распар - самую широкую цилиндрическую часть домны. Высота распара около 2-х метров, диаметр - более 13 метров. Распар> стирается на колонны 7, которые связаны с фундаментом печи. После распара доменная печь снова сужается в части, которая называется заплечиками. Сужение заплечиков

к горну обеспечивает удержание твердой шихты в распаре и шахте. Нижняя часть домны - горн. Диаметр горна может достигать до 12 метров. Толщина стенок горна свыше 1 метра.

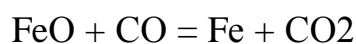
Сюда подают нагретый воздух через фурмы 5. В горне скапливается жидкий чугун и шлак, которые периодически выпускаются через чугунную 8 и шлаковую 6 летки. Для охлаждения основания горна - лещади - используются специальные холодильники 9.

Доменный процесс - процесс восстановительный, т. е. процесс освобождение железа в металлической составляющей шихты (агломерат или окатыши) от связанного с ним кислорода. Процесс восстановления и науглераживания железа происходят шахтной части домны. Данный процесс состоит из нескольких этапов. Вначале кислород вдуваемого воздуха в горн взаимодействует с углеродом кокса, в результате чего образуется углекислый газ  $CO_2$ . Данный газ, поднимаясь вверх, вступает в реакцию с новыми порциями кокса, продуктом которой является монооксид углерода (CO).

Далее происходит восстановление из шихты оксидов железа  $FeO$ :



Затем происходит науглераживание  $FeO$ , образуя, так называемое, губчатое пористое железо  $Fe$ :



Реакции восстановления оксидов железа  $FeO$  газом  $CO$  называют реакциями непрямого, косвенного восстановления (восстановление  $FeO$  связано только с участием газообразного восстановителя). Данные реакции протекают при температурах от 450 до 800 С и ослабевают при более высоких температурах

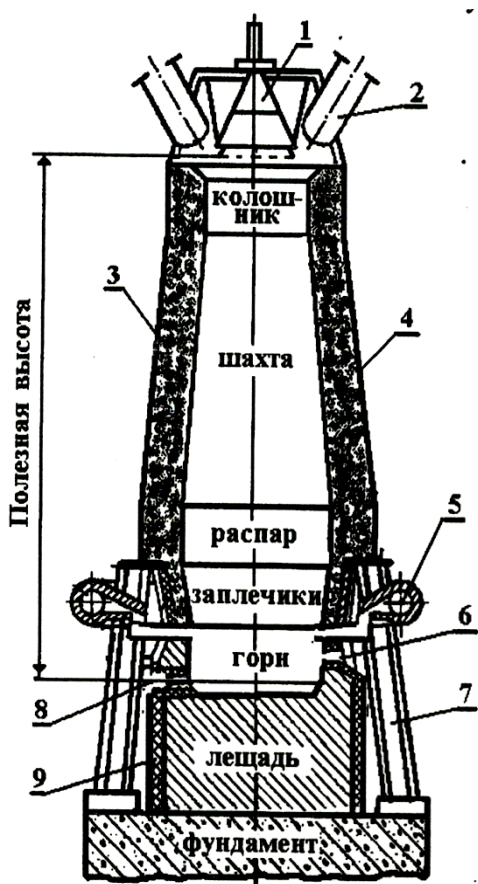
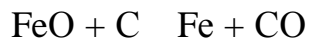


Рис. 1. Доменная печь.

На предпоследнем этапе в нижней части шахты, где температура более 800°C, происходит реакция, которую называют, прямым восстановлением железа (прямым восстановлением железа называется процесс, в котором участвует только чистый углерод). Данный процесс происходит за счет сажистого углерода:



Газами восстанавливается около 60% железа, а твердым углеродом (сажей) - около 40%. Пористое губчатое железо имеет высокую температуру плавления - 1539°C и в шахтной части домны не плавится. И только на последнем этапе губчатое железо вступает в реакцию с монооксидом углерода (CO), образуя карбид железа (цементит):

$$3\text{Fe} + 2\text{CO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{C} + \text{CO}_2$$

Наиболее быстро эта реакция происходит в зоне распара и заплечиков. Образовавшиеся кристаллы цементита растворяются в окружающем их железе, науглераживая его до 4,3%С и понижая температуру плавления такого железа до 1140...1150°C. Науглероженное низкоплавное железо расплавляется в зоне распара и заплечиков и струйками стекает в горн, по пути растворяя кремний, марганец, серу, фосфор и другие элементы, находящиеся в шихте. Образующийся сплав такого сложного состава и представляет собой чугун с температурой плавления от 1100 до 1350°C в зависимости от количества примесей.

В районе распара происходит плавление пустой породы и флюсов с образованием шлаков. Шлакообразование заканчивается в заплечиках. Жидкий шлак стекает в горн.

В горне на лещади накапливается жидкий чугун. Его плотность 6,9 г/см<sup>3</sup>, а плотность шлака около 2,5 г/см.

Поэтому слой шлака находится над чугуном. Накопившийся шлак периодически выпускают через шлакосливную летку в шлаковозы (ковши на тележках), а чугун - через чугуносливную летку в чугуновозы. Обе летки после выпуск чугуна и шлака забиваются огнеупорной массой. Температура чугуна при выпуске

1300...1450°C, шлака-на 40... 80°C выше.



Чугуновозами часть жидкого чугуна (если выплавлялся предельный чугун) направляют в миксерное отделение, где установлены сосуды-миксеры вместимостью до 3000 тонн. В миксерах не только накапливают и сохраняют чугун, но и выравнивают температуру жидкого чугуна, химический состав, улучшают его качество за счет обессеривания (снижения содержания серы). Из миксеров жидкий чугун идет на переработку в сталь в кислородных конвертерах. Другая часть жидкого чугуна сразу же поступает на разливочную машину. Здесь чугун разливают в 45-ти килограммовые слитки-чушки для дальнейшей его переработки в сталь в электро- и индукционных печах.

Если в домне производилась выплавка литейного чугуна, то весь чугун поступает на разливочную машину для получения 25... 30 килограммовых заготовок-чушек для литейного производства. Аналогичная операция производится и для ферросплавов.

Работу доменной печи оценивают коэффициентом использования полезного объема (К.И.П.О.). Этот коэффициент определяется как отношение полезного объема (рабочего пространства) доменной печи,  $V$  (м<sup>3</sup>), к суточной производительности  $P$  (т), выплавляемого чугуна. Для большинства доменных печей в нашей стране К.И.П.О. составляет 0,4 ...0,7. Чем меньше К.И.П.О., тем лучше работает печь.

### **3. Производство стали**

#### **1. 3. 1. Характеристика сталей**

Сталью называется сплав железа с углеродом при содержании углерода в сплаве менее 2%. Пока до 90% продуктом производства стали является углеродистая сталь, а остальное – легированная сталь.

Углеродистые стали Широкое использование углеродистой стали обусловлено удачным сочетанием механических, физико-химических и технологических свойств, а также достаточно низкой себестоимостью и возможностью изготовлять ее в больших объемах.

Углеродистые стали по содержанию углерода в сплаве подразделяются на низко- (<0,3%C), средне- (0,3...0,7%C) и высоко-углеродистые (> 0,7%C). По

назначению эти стали используются как конструкционные ( $\%C < 0,6$ ) и инструментальные ( $0,7 \dots 1,3\%C$ ).

Конструкционная сталь выпускается обыкновенного качества (ГОСТ 380) и качественная (ГОСТ 1050). Отличие этих сталей в %-ном содержании серы (S) и фосфора (P) как вредных примесей. Чем меньше серы и фосфора, тем более качественная сталь.

Стали обыкновенного качества в основном низколегированные и не предназначены для термической обработки. Данные стали поставляются в виде проката (прутков, труб, балок, швеллеров, уголков, листов и т.д.), предназначенные для различных строительных конструкций и неотвеченных слабонагруженных деталей машин и механизмов, изготавливаемых резанием, сваркой, холодной деформацией. Они достаточно дешевы и во многих случаях удовлетворяют требованиям по механическим свойствам, предъявляемым к металлу. Общий объем производства сталей обыкновенного качества составляет 75... 80% производства всех углеродистых сталей.

Стали обыкновенного качества изготавливают в кислородных конвертерах. Процесс освобождения металла от кислорода, содержащегося в нем в виде FeO, называется раскислением.

В зависимости от степени раскисления данные стали подразделяются на кипящие (кп), полуспокойные (пс) и спокойные (сп). раскисления указывается в маркировке стали. Например, сталь марки Ст2кп, Ст4пс и т.д. конструкционные стали поставляют потребителю с указанием химического состава и механических свойств данных сталей изготавливают самые разнообразные детали, подвергаемые термической и химико-термической обработке.

Производство этих сталей осуществляют в кислородных конвертерах и электродуговых печах. Степень раскисления их также указывается в маркировке. Например, сталь 10кп ( $0,1\%C$ , кипящая), сталь 30пс ( $0,3\%C$ , полуспокойная). У спокойных качественных сталей в ее маркировке отсутствует индекс "сп". Например, сталь 45, сталь 50 и т.д.

Качественные конструкционные стали подразделяются на 4 подгруппы.

1) Низкоуглеродистые стали высокой пластичности – марки от 05 до 10. Эти стали хорошо деформируются в холодном состоянии и применяются в случаях, когда необходима большая степень пластической деформации при изготовлении деталей, не подвергаемых термической обработке, а также для деталей, требующих химико-термическую обработку (цементацию, нитроцементацию, цианирование).

2) Низкоуглеродистые стали марки от 15 до 25. Эти стали менее пластичны, несколько хуже деформируются в холодном состоянии. Применяются для изготовления деталей, не подвергающихся значительным динамическим нагрузкам.

3) Среднеуглеродистые стали марок 30...55. Применяются для изготовления разнообразных деталей. Различные виды термической обработки (изотермический отжиг, нормализация, улучшение, закалка с низким отпуском, поверхностное упрочнение током высокой частоты и др.) значительно повышают прочностные и эксплуатационные свойства деталей.

4) Высокоуглеродистые конструкционные стали высокой прочности. Их применяют для изготовления деталей, работающих в условиях больших статических, динамических и вибрационных нагрузках. Для повышения прочности этих сталей применяют различные виды термической обработки.

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435) предназначены для изготовления режущих и измерительных инструментов небольших размеров. В маркировке этих сталей буква "У" обозначает, что это углеродистая сталь, цифры - содержание углерода в десятых долях процента. Выплавляют углеродистые инструментальные стали в электропечах.

Легированные стали. В современном машиностроении все большее применение находят стали, где кроме железа, углерода и постоянных примесей (S, P, Mn, O, H) содержатся специально вводимые добавки других элементов таблицы Менделеева (Cr, Ni, Mo, W, Ti и др.), которые называют легирующими. Легирующие элементы изменяют свойства стали и особенно при применении термической и химико-термической обработки.

Различают стали низколегированные, в которых суммарное содержание легирующих элементов не превышает 2,5%, легированные - содержание легирующих элементов в пределах 2,5... 10% и высоколегированные (более 10%) при содержании хотя бы одного из легирующих элементов не менее 8%. В зависимости от названия основных легирующих элементов в стали ее называют по этим названиям. Например, сталь 20X - хромистая, 65Г2 - марганцовистая, 12X18Н10 - хромоникелевая, 40ХНМА - хромоникельмолибденовая и т.д.

Легированные стали применяются в качестве конструкционного материала для изготовления различных инструментов (измерительного, режущего, штампового и др.), а также для изделий, обладающих каким-либо особым свойством - нержавеющей, жаропрочные, жаростойкие, износостойкие, магнитные и т.д.

Для обозначения химического состава легированных сталей принято цифро-буквенные обозначения. Буквы показывают наличие того или иного легирующего элемента: X - хром, Н- никель, К -кобальт, Г - марганец, Д - медь, Р - бор, Б – ниобий - церий, С - кремний, П- фосфор, В - вольфрам, Т - титан, N - азот, Ф - ванадий, Ю - алюминий.

Цифры, стоящие перед буквами показывают для конструкционных сталей содержание углерода в сотых долях процента, для инструментальных - в десятых долях процента. Цифры, следующие за буквами, указывают содержание легирующего элемента в целых числах процента. При содержании легирующего элемента менее 1,5% цифра отсутствует. Буква "А" в конце марки показывает, что сталь высококачественная. Для маркировки некоторых высоколегированных сталей специального назначения используют характерные, обозначения и отдельные буквы: Ш - шарикоподшипниковая, Э - электротехническая и т.д.

Производство легированных сталей осуществляется в различных плавильных устройствах. Но» в основном, это кислородноконвертерная и электропечь с последующей вне печной обработкой жидкого металла в разливочном ковше. Для особых марок сталей используются специальные электрометаллургические про-

цессы - плавка в вакуумных печах, электрошлаковый и вакуум-но-дуговой переплав, электронно-лучевая и плазменная плавка.

### **1.3.2. Технология конвертерного производства стали**

Технология конвертерного производства стали (конвертер - от латинского слова "конвертере" - превращать) известна с середины 19 века, благодаря создателям данного процесса Генриху Бессемеру и Сидни Томасу (1855...1878 г. г.).

Сущность технологии получения стали заключалась в продувке жидкого чугуна в агрегатах цилиндрической, а позднее грушевидной формы через днище агрегата воздухом. За счет повышенного содержания в чугуне или кремния (бессемеровский процесс), или фосфора (томасовский процесс) жидкий чугун при продувке разогревался до 1600...1650С. В результате высокой температуры интенсивно происходило выгорание (окисление) углерода и других примесей в чугуне. Процесс получения стали в конвертере занимал 20.. .40 минут.

Однако данные технологии в настоящее время не применяются в связи с существенными недостатками этих процессов.

Главными из них являются:

- 1) хрупкость сталей при пониженных температурах и холодной пластической деформации за счет высокого содержания в сталях азота;
- 2) низких механических свойств сталей из-за большого количества неметаллических включений;
- 3) невозможностью переработки значительного количества стального и чугунного лома (скрапа), быстро накапливаемого развивающейся промышленностью.

Все эти проблемы сняты разработкой принципиально нового способа получения стали в конвертерах, который получил название "кислородно-конвертерный процесс" получения стали. Сущность этого процесса заключается в:

- подаче дутья сверху на поверхность перерабатываемой металлической шихты;

- применение для дутья технически чистого кислорода, что позволяет исключить вредный азот и одновременно повысить температуру нагрева металлической шихты;

- возможности переработки чугуна с низким содержанием одновременно и кремния, и фосфора, так как температура жидкого чугуна повышается за счет применения продувки его кислородом, а не из-за этих элементов, являвшихся основным источником тепла в бессемеровском и томасовском процессах;

- значительном повышении доли скрапа в металлической шихте.

На рис. 2 представлена схема кислородного конвертера производительностью 400...500 т/ч. Конвертер опирается на опорную станину 1 и имеет возможность поворачиваться с помощью электродвигателя 21 вокруг горизонтальной оси на 360°. Форма и размеры рабочего пространства конвертера связаны с размещением там заливаемого жидкого чугуна, металлического лома и других присадок.

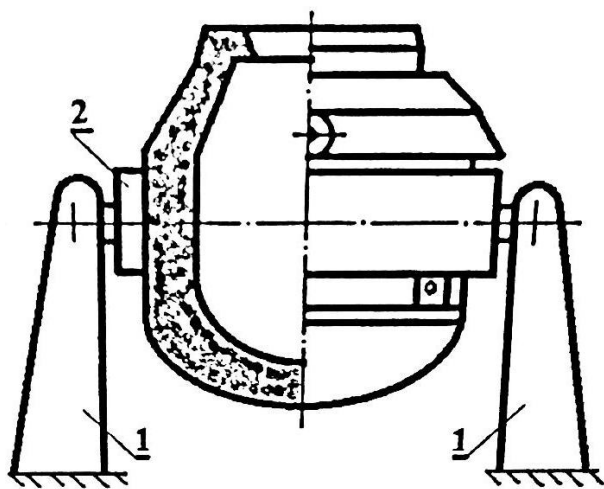


Рис. 2 Кислородный конвертер.

Диаметр современных конвертеров колеблется от 4 до 10 м., высота 9...12 м., глубина жидкой ванны металла 1,4...1,8 м. Подача кислородного дутья производится через фурму, вводимую по центру конвертера на расстоянии 0,7...3,0 м. от поверхности жидкой ванны металла.

Загружаемые в кислородный конвертер компоненты состоят из металлической шихты, шлакообразующих материалов и специальных легирующих добавок. В металлическую шихту вводят жидкий предельный чугун, на долю которого приходится до 80% общей массы шихты и скрап, состоящий из чугуна и стального лома. Максимальное количество скрапа может достигать до 25% от массы жидкого чугуна. В качестве шлакообразующих материалов используют известь ( $\text{CaO}$ ) в смеси с бокситом ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и плавиковым шпатом (

CaF<sub>2</sub>) для ускорения процесса шлакообразования. Специальными добавками являются легирующие элементы, применяемые в сталях, в т.ч. ферросплавы. За последние годы в связи с совершенствованием процесса конвертерного производства стали в металлическую шихту добавляют окатыши рудных материалов и прокатную окалину, содержащие большой процент железа.

На рис. 3 показаны технологические операции плавки кислородного конвертера верхнего дутья. Плавки стремятся проводить с минимальными простоями между продувками для предотвращения остывания конвертера. Технология плавки следующая:

1) конвертер наклоняют на 60° и начинают завалку скрапа через горловину (а). Завалка скрапа производится завалочными машинами.

2) в том же положении конвертера заливают жидкий чугун с помощью заливочных ковшей (б).

Жидкий чугун подается к месту заливки миксеровозами.

3) конвертер устанавливают вертикально, вводят кислородную фурму, включают подачу кислорода (в).

Одновременно с началом дутья (продувки) производят загрузку первой партии шлакообразующих материалов.

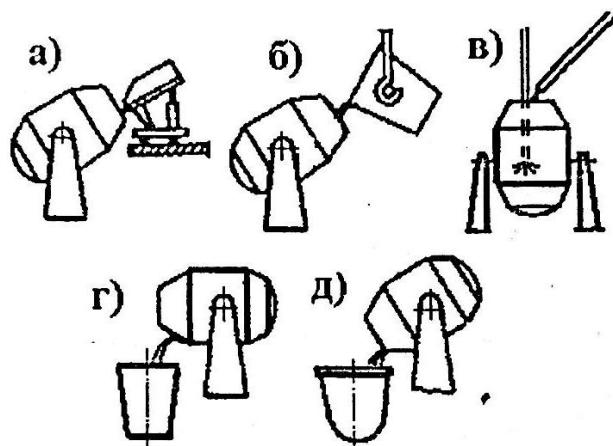


Рис. 3 Технологические операции кислородного конвертера.

Продувка в зависимости от емкости конвертера и интенсивности подачи кислорода продолжается от 15 до 30 мин. И должна закончиться "при заданном процентном содержании углерода в выплавляемой стали и температуре жидкого металла в пределах 1580... 1650 С

4) по окончании продувки кислородную фурму выводят из полости конвертера и проводят химический анализ выплавляемой стали. От результатов анализа, в первую очередь на содержание углерода, принимается решение о выпуске или корректировке плавки. Корректировка плавки при избыточном со-

держании углерода состоит в кратковременной обдувке. При заниженном содержании углерода в жидком металле вводят добавки молотого кокса или графита в момент выпуска стали в ковш.

5) при выпуске стали из конвертера его наклоняют до 124 и через специальную летку производят слив стали в сталеразливочный ковш (г). Вместе с жидким металлом в ковш сливают часть шлака толщиной 200...300 мм для предотвращения быстрого охлаждения металла в ковше.

б) поворачивают конвертер горловиной вниз и сливают основную часть шлака в шлаковый ковш (д).

7) возвращают конвертер в исходное состояние и процесс выплавки стали повторяется. Общее время плавки стали в кислородном конвертере составляет 35... 45 мин.

В новых вариантах конвертерных процессов применяют одновременно верхнюю продувку с продувкой жидкого металла снизу либо техническим кислородом или в сочетании кислорода с различными газами и смесями. Применение дополнительного донного дутья позволяет существенно увеличить выход жидкой стали с более высокими физико-механическими свойствами.

Себестоимость получения конвертерной стали в основном зависит от стоимости металлической шихты (чугуна, скрапа, ферросплавов) и может составлять до 80% общей стоимости.

Снижение себестоимости выплавляемой стали в кислородных конвертерах возможно за счет уменьшения металла при продувке (уменьшение выносов с газами и выбросов из конвертера в процессе кипения стали), использование установки непрерывной разливки стали (уменьшение обрезки слитков), а также применение предварительного нагрева скрапа в конвертере.

При производстве сталей кислородно-конвертерным способом все еще имеются большие трудности для выплавки легированных сталей. Основная продукция конвертерного производства стали — это рядовые конструкционные и малолегированные стали. Трудности выплавки легированных сталей в конвертере связаны с невозможностью введения легкоокисляющихся легирующих



элементов в жидкую ванну металла. В конвертер можно вводить легирующие металлы, взаимодействующие с кислородом слабее, чем с железом (никель, медь, молибден). Легирующие металлы более активно взаимодействующие с кислородом (хром, марганец, кремний) вводятся в разливочный ковш или в конвертер в виде специальных лигатур.

### **1. 3. 3. Технология производства стали в электропечах**

Развитие техники требует более широкого применения высококачественных сталей. К таким сталям относятся железоуглеродистые сплавы с низким содержанием серы ( $< 0,05\%$ ), фосфора ( $< 0,04\%$ ), кислорода и других неметаллических примесей. Одновременно в составе этих сталей присутствуют различные легирующие элементы, которые придают им особые физико-механические, технологические и другие свойства. В зависимости от свойств и назначения высококачественные стали подразделяются на инструментальные, нержавеющие, жаропрочные и др. Все их получают преимущественно в электропечах. В электрических печах можно создавать и точно регулировать необходимые температурные условия процесса плавки стали, осуществлять плавку в окислительной, восстановительной и нейтральной атмосфере, а также в вакууме. Это позволяет выплавлять сталь любого заданного состава, с низким содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Вместимость электропечей колеблется в довольно широких пределах - от 0,5 до 400 тонн. Для производства сталей в электропечах используют шихтовые материалы в твердом состоянии. В зависимости от состава шихты существуют две основные технологии выплавки стали:

1) с полным окислением применяемой шихты, в которую входят стальной лом, предельный чугуны, шлакообразующие материалы, легирующие добавки и раскислители;

2) переплав шихты, состоящей преимущественно из легированных отходов металлургической и металлообрабатывающей промышленности, связанных с легированными сталями. Первая технология обеспечивает производство высококачественных сталей, вторая (упрощенная) - во многих случаях не

обеспечивает их получение. По второй технологии выплавляют преимущественно конструкционные легированные и некоторые инструментальные стали, для которых ряд технических требований не оговариваются.

Основной объем производства сталей в электропечах производится в 3-х фазных дуговых печах на переменном токе с применением 3-х графитизированных электродов. Схема такой дуговой печи показана на рис. 4. Отдельные виды высококачественных сталей производят в особых электропечах (индукционных, вакуумных, электронно-лучевых, плазменных), относящихся к специальным видам электрометаллургии. 3-х электродная печь выполнена из стального кожуха 1 со сферическим днищем. Внутри печь выложена огнеупорным кирпичом 2. Футеровку электропечи выполняют из основных (магнезитовый или хромомагнезитовый кирпич) или из кислых (динасовый кирпич) огнеупорных материалов. В печах с кислой футеровкой выплавляют углеродистые и низколегированные стали для дальнейшего их использования в литейном производстве при получении стальных отливок. А так как объем таких сталей незначителен в общем объеме получения электросталей, то наибольшее количество печей имеют основную футеровку.

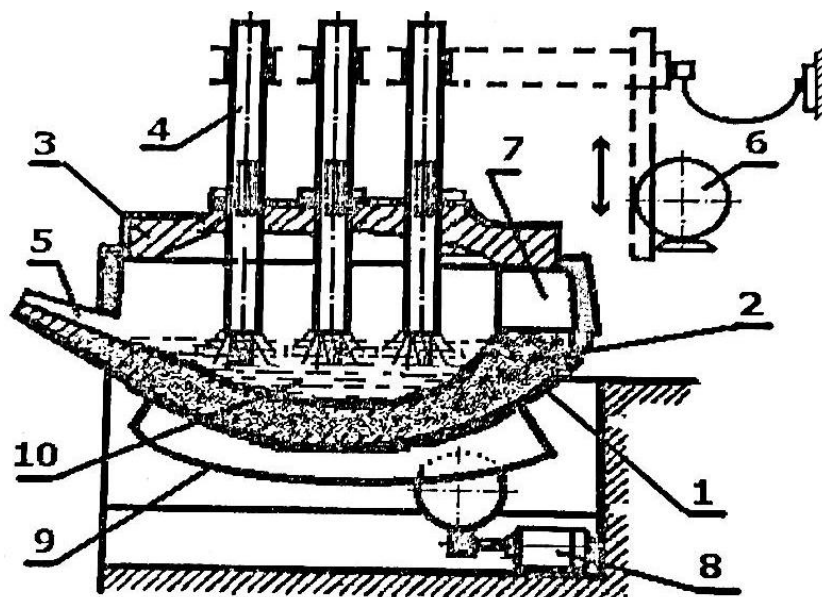


Рис. 4 Дуговая электропечь.

Сверху рабочее пространство печи перекрыто съемным сводом 3, футерованным также огнеупорным материалом, с отверстиями для электродов.

Электроды 4 специальным механизмом 6 могут перемещаться относительно поверхности металлической шихты и жидкого металла ванны печи 10. Питающий трансформатор обеспечивает рабочее напряжение до 200 В для малых печей и до 600 В для больших и силу тока до десятков тысяч ампер. Сам корпус печи опирается на люльку 9, которая позволяет наклонять корпус в сторону желоба для слива металла 5 на 40... 45° и в сторону рабочего окна 7 на 10... 15° для скачивания (удаления) шлака с помощью электродвигателя 8. Технология выплавки стали методом полного окисления шихты состоит из следующих этапов: загрузка шихты, плавление шихтовых материалов, окислительного, а затем восстановительного периодов и выпуска готовой стали.

Загружаемая в печь, металлическая часть шихты состоит до 90% из стального лома, остальное - чушковый передельный чугун. После загрузки металлической шихты опускаются электроды и включается ток. По мере расплавления шихты вокруг электродов уровень жидкого металла повышается и автоматически происходит постепенный подъем электродов. Для печей с большими объемами после плавления примерно 75% шихты с целью ускорения ее дальнейшего плавления производят продувание жидкого металла кислородом. После расплавления всей шихты через загрузочное окно осуществляют удаление (скачивание) максимального количества шлака (до 80%), с которых выводится основная масса фосфора. С этого момента приступают к проведению окислительного периода плавки.

Задачей окислительного периода плавки является:

- 1) максимальное снижение содержание фосфора, газов (водорода, азота) и оксидных неметаллических включений;

- 2) повышение температуры жидкого металла до требуемых значений и выравнивание ее по всему объему ванны печи. Для осуществления окислительного периода вводят свежие шлакообразующие материалы в объеме 1,5... 2% от массы жидкого металла. Данный период в зависимости от объема печи занимает от 30 до 90 минут. За это время происходит окисление марганца, хрома, кремния, дополнительно фосфора, углерода и других элементов. Осо-

бенно интенсивно окисляется углерод с образованием пузырей монооксида углерода (CO), которые вызывают кипение металла, способствуя его интенсивному перемешиванию со шлаком, а также удалению азота, водорода и оксидных неметаллических включений их расплавленного металла. В конструкциях современных электрических печей предусмотрено устройство дополнительного электромагнитного перемешивания жидкого металла со шлаком, что резко увеличивает эффективность перемешивания.

В ходе окислительного процесса плавки проводят несколько раз экспресс-анализ металла на содержание углерода и фосфора изготавливаемой стали.

Данный процесс заканчивается по достижении заданных значений углерода и фосфора в наплавляемой марке стали и последующим скачиванием очередного шлака.

Однако в жидком металле сохраняется высокое содержание серы и кислорода в виде закиси железа FeO, которая была необходима для окисления примесей. После этого она должна удалиться из металла, так как подобно сере является вредной примесью, придавая металлу красноломкость и снижая механические свойства. Доведения серы и кислорода до заданных значений осуществляют при восстановительном периоде плавки, что и является основной задачей этого периода. Восстановительный период плавки начинается после скачивания окислительного шлака и наводки (введения) новой порции шлакообразующих материалов (известь, плавиновый шпат) в объеме 2...4% от массы жидкого металла.

Наиболее широко применяется, так называемое, "диффузионное" раскисление металла, когда элементы раскислители в порошкообразном состоянии вводятся не в жидкий металл, а в шлак. Основными раскислителями являются ферросплавы, например, 75%-ный ферросилиций, 70%-ный ферромарганец. Наиболее активным раскислителем является алюминий, которые вводят за 2.. .5 минут до выпуска стали.

Время восстановительного периода плавки значительно сокращается, если используется электромагнитное перемешивание. В плавках, в которых жидкий

металл подвергается электромагнитному перемешиванию, среднее содержание кислорода оказывается в 1,5... 2,5 раза ниже, чем в металле обычных плавков.

Выпуск металла из печи после доведения плавки до заданных требований по химическому составу, примесям, температуры нагретого металла производят по одному из 2-х способов:

- 1) выпуск металла в сталеразливочный ковш вместе со шлаком;
- 2) выпуск части шлака в ковш, затем металла и оставшегося шлака.

Металл в ковше, интенсивно перемешиваясь со шлаком, дополнительно обрабатывается шлаком, что способствует увеличению степени обессеривания (удаления серы) и раскисления металла.

Последние десятилетия использовалась обработка жидкого металла во время его выпуска в ковш синтетическим шлаком. Предварительно в шлакоплавильной электропечи выплавляли синтетический, искусственно создаваемый шлак определенного химического состава (основные его составляющие  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Нагретый до 1650...1700 С шлак сливали в сталеразливочный ковш (4...5% от массы выпускаемой стали), а затем в этот ковш с высоты 3...5 метров заливали жидкий металл. Жидкие синтетические шлаки давали возможность часть операции по очистке жидкого металла от неметаллических включений - данная операция носит название "рафинирование" - вывести из восстановительного периода плавки, сокращая этот период на 10... 15%. Однако, применение синтетических шлаков заметно повышало себестоимость выплавляемой стали. Поэтому за последние годы все больше применяется технология внепечной обработки жидкого металла (вакуумирование, инжекторная металлургия). Производство углеродистой стали в электропечах, осуществляемое способом полного окисления шихты, характерно наличием всех периодов плавки - от загрузки до выпуска с четким разграничением каждого из них. По степени раскисленности, т.е. содержания растворенного в металле кислорода углеродистая сталь может быть кипящей, полуспокойной и спокойной. В настоящее

время кипящая и полуспокойная сталь в электропечах практически не выплавляется.

Углеродистая спокойная сталь должна содержать такое количество растворенного в металле кислорода, которое исключило бы его (кислорода) взаимодействие с углеродом металла во время разливки и кристаллизации стали. Для получения такой стали жидкий металл плавки раскисляют марганцем, кремнием, алюминием. В таблице 1.1 приведен химический состав некоторых углеродистых спокойных сталей. Технология производства в электропечах легированных сталей существенно отличается от технологии получения углеродистой стали. По назначению легированная сталь может быть строительной, общемашиностроительной, инструментальной и машиностроительной со специальными свойствами. При подготовке к плавке легированной стали в дуговых электропечах необходимо особое внимание обращать на химический состав исходных материалов шихты.

Таблица 1.1 Химический состав некоторых углеродистых спокойных сталей, %

Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
				не более			
08	0,05...0,12	0,17...0,37	0,35...0,65	0,035	0,04	0,10	0,25
15	0,12...0,19	0,17...0,37	0,35...0,65	0,040	0,04	0,25	0,25
40	0,37...0,45	0,17...0,37	0,50...0,80	0,40	0,04	0,25	0,25
85	0,82...0,90	0,17...0,37	0,50...0,80	0,040	0,04	0,25	0,25
У10	0,95...1,04	0,15...0,37	0,15...0,35	0,035	0,03	0,20	0,15

При получении в электропечах легированных сталей исходными материалами для легирования стали являются различные ферросплавы (ферросилиций, феррохром, ферровольфрам и т.д.).

Реже используются легирующие элементы в виде металла (металлический хром, титан, алюминий и др.). Поэтому металлический лом должен соответствовать заданному составу стали с учетом примесей, вносимых ферросплавами. Исходные материалы должны быть хорошо просушены и прокалены. Ферросплавы должны перед внесением в шихту нагреты до 750.. .850 С. Порядок и количество внесения легирующих элементов зависит от многих факторов,

главными из которых их сродство с кислородом, растворенным в жидком металле, интенсивность окисления, угар и количество тепла, затрачиваемое на расплавление или нагрев той или иной порции ферросплавов. Например, усвоение никеля жидким металлом составляет практически 100%, угар хрома достигает до 10... 12%, а титана до 30% и т.д. В таблице 2 приведен химический состав некоторых легированных сталей.

Таблица 1.2 Химический состав некоторых легированных сталей

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
20X	0,17...0,23	0,17...0,37	0,50...0,80	0,70...1,00	--	--	--
35XГ2	0,32...0,40	0,17...0,37	1,60...1,90	0,40...0,70	--	--	--
20X2Н4А	0,16...0,22	0,17...0,37	0,30...0,60	1,25...1,65	3,3...3,7	--	--
38X33МФА	0,34...0,42	0,17...0,37	0,25...0,55	1,20...1,50	3,0...3,4	0,35...0,45	0,1...0,2
ШХ-15	0,95...1,10	0,15...0,35	0,20...0,40	1,30...1,65	≤ 0,3	--	--
X18310Т	≤ 0,12	≤ 0,80	1,00...2,00	17,0...19,0	9,0...11,0	--	--

Производство легированных сталей по технологии полного окисления шихты требует больших трудозатрат, поэтому себестоимость таких сталей достаточно высока.

Если технические условия использования легированных сталей для тех или иных целей допускают заниженные значения качества стали, то такие легированные стали производят по технологии переплава шихты, состоящей из легированных отходов металлургической и металлообрабатывающей промышленности. С целью максимального использования легирующих элементов шихты плавку ведут без окислительного периода. Отсутствие окислительного периода при данной технологии обуславливает невозможность удаления углерода и фосфора, содержащихся в шихте. Поэтому содержание этих элементов в шихте должно быть ниже, чем в готовой стали. Шихта состоит из 60... 80% легированных отходов, а остальное отходы низколегированной стали и ферросплавы. Для отшлаковывания образующихся окислов в период плавления вводят известь в количестве 1,5... 2% от массы металла. После полного расплавления шихты жидкий металл продувают кислородом и заканчивают продувку при получении заданного химического состава изготавливаемой стали.

По окончании продувки металл обычно раскисляют силикомарганцем и феррохромом.

Так как при переплаве шихты из легирующих отходов длительность плавки меньше на 10... 35% (зависит от объема печи), чем плавки с полным окислением шихты, снижается расход электроэнергии, уменьшается количество используемых ферросплавов и ряд других факторов, то получаемая легированная сталь по технологии переплава отходов значительно дешевле.

Для повышения качества легированных сталей, полученных способом переплава отходов легированной шихты, так же применяют выпечную ее обработку - рафинирование и дегазацию аргоном.

Технологические процессы выпечной обработки сталей и получение сталей специальными методами металлургии подробно рассмотрены в технической литературе.

## **1.4. Производство алюминия и его сплавов**

### **1.4.1. Характеристика алюминиевых сплавов**

**Алюминий** - пластичный металл имеет малую плотность (2,7 г/см<sup>3</sup>) и высокую коррозионную стойкость. Технический алюминий, поступающий в виде листов, профилей, прутков и других полуфабрикатов, маркируется АД и АД 1 и используется для изготовления деталей, не несущих нагрузку, когда требуется высокая пластичность, хорошая свариваемость, сопротивление коррозии и высокая тепло- и электропроводимость. Но наиболее широко применяются сплавы алюминия, которые подразделяются на литейные, деформируемые и изготавливаемые методом порошковой металлургии.

**Литейные сплавы** (ГОСТ 2685). Сплавы для литья должны обладать высокой жидкотекучестью, сравнительно небольшой усадкой, малой склонностью к образованию горячих трещин, а также обладать хорошими механическими свойствами. Чаще всего в машиностроении применяются сплавы Al - Si (силумины марок АЛ2, АЛ4, АЛ9), Al - Cu (марок АЛ7, АЛ 19), Al - Mg (АЛ1, АЛ8, АЛ27) и жаропрочные сплавы (АЛ1, АЛ20, АЛ21).



Эти сплавы дополнительно легируются небольшим количеством меди и магния (Al - Si), кремния (Al - Mg, АЛ20), марганца, никеля, хрома (Al- Cu). Сплавы АЛ2 не подвергаются упрочняющей термической обработке. АЛ4 и АЛ9 - упрочняются. Средненагруженные детали из сплава АЛ4 подвергаются только искусственному старению, а крупные нагруженные детали (корпусы компрессоров, картеры, блоки цилиндров двигателей и др ) - закалке и искусственному старению. Отливки из сплава АЛ9, требующие повышенной пластичности, подвергаются закалке, а для повышения прочности - еще и старению.

Сплав АЛ7 и АЛ 19 применяется для литья небольших деталей простой формы (кронштейны и др.) и подвергается закалке.

Сплав АЛ8 и АЛ27 предназначаются для отливок, работающих во влажной атмосфере.

Наибольшее распространение получили сплавы АЛ 1 и АЛ20, из которых изготавливают поршни, головки цилиндров и другие детали, работающие при температурах 275...300°С. Для крупно-габаритных деталей, работающих при температурах более 300°С применяют сплав АЛ21.

**Деформируемые сплавы** (ГОСТ 4784). Данные сплавы подразделяют на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой. Сплавы неупрочняемые термической обработкой характеризуются невысокой прочностью, но хорошей пластичностью (до 40%). Упрочнение в этих сплавах можно получить путем холодной обработкой давлением. Это сплавы алюминия либо с марганцем или с магнием - АМц, АМг2, АМг5. Они хорошо свариваются, легко обрабатываются давлением с глубокой вытяжкой и обладают высокой коррозионной стойкостью. Применяются для малонагруженных сварных и клепанных деталей (баки для бензина, трубопроводы и пр.).

Из группы сплавов упрочняемых термической обработкой наиболее известны дуралюмины (Д1, Д16), высокопрочные (В95, В96), ковочные (АКб, АК8), жаропрочные (АК4-1, Д20) сплавы и сплав авиаль (АВ). Дуралюмины подвергаются естественному старению, высокопрочные, ковочные и жаропроч-

ные - закалке и искусственному старению. Сплав Д 16 нашел применение для изготовления различных деталей средней и повышенной прочности, требующих долговечности при переменных нагрузках. Высокопрочные сплавы легко деформируются в холодном состоянии и применяются для конструкций, работающих длительное время при температурах не выше 100... 120 С. Ковочные сплавы отличаются высокими пластическими свойствами при температурахковки и штамповки (380... 450 С). Они применяются для деталей сложной формы и средней прочности (подmotorные рамы, крыльчатки, фитинги и др.).

**Жаропрочные сплавы** используются для деталей, работающих при температурах до 300°С (поршни, крыльчатки, лопатки и т.д.). Спеченные алюминиевые сплавы (САП) изготавливают методами порошковой металлургии, включающей холодное прессование алюминиевого порошка (пудры), вакуумную дегазацию брикетов (отжиг) и последующее спекание нагретых брикетов под давлением. После спекания брикеты прокатывают в листы, прутки различного профиля или подвергают штамповке. Эти сплавы состоят из алюминия и оксида алюминия ( $Al_2 O_3$ ), содержащегося на поверхностных слоях частичек порошка алюминия.

Содержание  $Al_2 O_3$  в САП колеблется от 6... 9% (САП 1) до 18...22% (САП4). С увеличением  $Al_2 O_3$  повышается предел прочности и соответственно снижается относительное удлинение.

Данные сплавы обладают высокой жаропрочностью при длительном нагреве до 500°С.

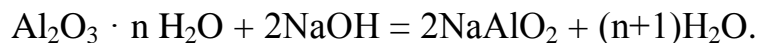
#### **1.4.2. Технология производства алюминия**

Основными рудами для получения алюминия служат бокситы, в которых содержится 40...60%  $Al_2O_3$ , 15..30%  $Fe_2O_3$ , 10... 15%  $H_2O$ , примеси кремния, окиси титана и ряд других. Непосредственно из руд алюминий не восстанавливают. Современное производство алюминия состоит из трех основных процессов:

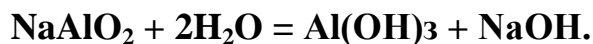
- 1) получения глинозема  $Al_2O_3$  из руд;
- 2) получение алюминия из глинозема;

### 3) рафинирование алюминия.

Глинозем чаще получают щелочными способами. Для этого бокситы измельчают в порошок в шаровых мельницах. Далее измельченный боксит в автоклавах при температуре 105...240°C и давлении 2,5...3,3 МПа обрабатывают раствором щелочи NaOH, получая алюминат натрия:



Алюминат натрия переходит в раствор, а посторонние окислы и примеси, не растворяющиеся в щелочах, выпадают в осадок. После удаления осадка и отфильтровывания алюминатный раствор подвергают разложению в стальных емкостях в течение 75...90 ч. и получают гидроокись алюминия:



Образующийся гидрооксид алюминия выпадает в осадок в виде белых хлопьев. Его обезвоживают в трубчатых вращающихся печах прокаливанием при температуре до 1200 С:



Металлический алюминий получают электролизом измельченного глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , растворенного в криолите ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), в электролизной ванне - электролизере (рис. 5).

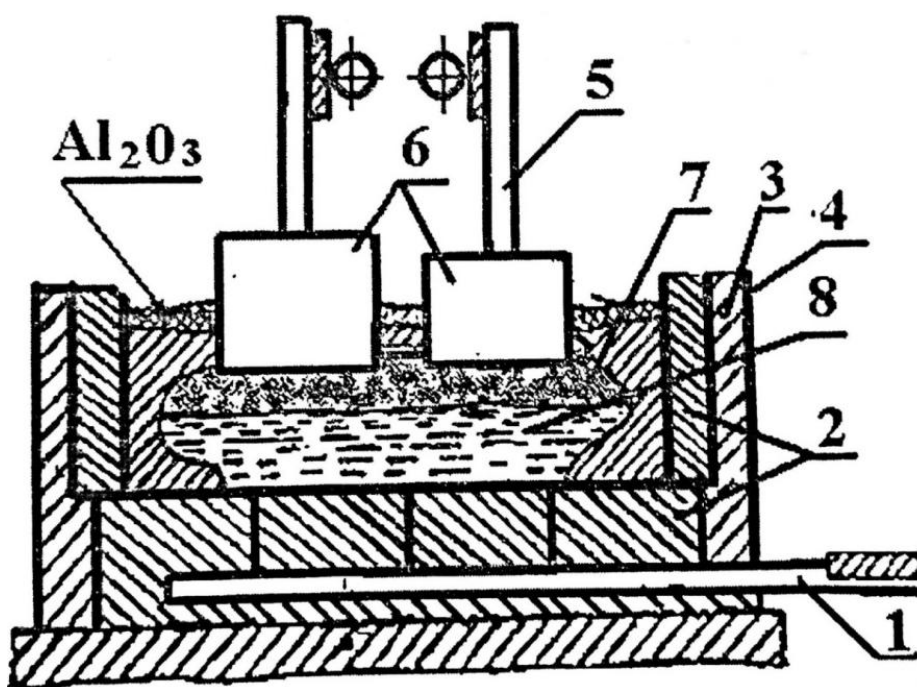


Рис. 5 Схема электролизной ванны.

Ванна имеет стальной кожух 4, футерованный шамотным кирпичом 3. Подина и стены ванны выложены угольными плитами 2. К подине подведены катодные шины 1; аноды-угольные блоки 6 присоединены к анодным стержням 5. Через шихту 7, состоящую из криолита и глинозема, пропускают ток от 40000 до 150000 А и напряжением 4...5 В. Электролиз проводят при 950...970°C.

Расплавленный алюминий постепенно скапливается на дне ванны 8 и периодически, (обычно через 3...4 сун.) удаляется при помощи вакуумного ковша с сифоном. После электролиза сырец -алюминий содержит различные примеси (железо, кремний и др.) и газы, которые ухудшают его свойства. Для получения чистого алюминия его рафинируют газообразным хлором. После этого получают алюминий чистотой 99,5...99,85%. Алюминий более высокой степени чистоты (99,99%) получают после электролитического рафинирования (ГОСТ 11069).

Для получения 1 т алюминия расходуется 2 т глинозема, до 0,6 т угольных анодов, около 0,1 т криолита и около 17000 кВт\*ч электроэнергии.

### **Контрольные вопросы.**

1. На какие подгруппы подразделяются качественные конструкционные стали?
2. Для каких изделия предназначены для углеродистые инструментальные стали?
3. Что означают цифры, стоящие перед буквами в маркировке сталей?
4. В каких пределах колеблется диаметр современных конвертеров?
5. Повторите технологию производства стали в электропечах.
6. Из чего состоит загружаемая в печь, металлическая часть шихты?
7. Как производят выпуск металла из печи после доведения плавки до заданных требований по химическому составу, примесям, температуры нагретого металла?
8. Назовите химический состав некоторых углеродистых спокойных сталей.
9. Производство алюминия и его сплавов
10. Назовите характеристики алюминиевых сплавов

## ГЛАВА 2

### ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### 2.1. Виды и требования к заготовке

Согласно ГОСТ 3.1109 заготовкой называется предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности или материала изготавливают деталь. Получение деталей из заготовок тесно связано с их механической обработкой. Поэтому трудоемкость и другие показатели механической обработки заготовок напрямую связаны со способом производства заготовок.

Основные требования к заготовкам таковы:

- 1) приближение формы и размеров заготовки к форме и размерам готовой детали;
- 2) технологичность конструкции заготовок;
- 3) применение наиболее прогрессивных методов их получения;
- 4) равномерность припуска;
- 5) одинаковая твердость в партии заготовок.

Наиболее распространенными методами получения заготовок для деталей транспортных и технологических машин являются:

- литье (получение отливок);
- обработка давлением (получение поковок и штамповок);
- использование сортового и профильного проката;
- применение сварки и других методов для получения заготовок сложного профиля;
- неметаллические материалы и металлокерамика.

На выбор метода получения заготовок влияют следующие факторы:

1. назначение и технические требования на изготовление заготовок, в том числе и характеристика материала заготовки;
2. тип производства, объем выпуска и сроки подготовки производства изготовления деталей;
3. конструктивная форма поверхностей и размеры заготовки;

4. требуемая точность выполнения размеров, шероховатость и качество поверхностей заготовки;

5. социальные условия, т.е. безопасность работы и экологические факторы;

6. суммарная себестоимость получения заготовки и изготовление из нее детали, а также сборки изделия.

Ниже даны основные характеристики заготовок, полученных различными способами.

## **2. 2. Характеристика отливок**

На характеристику отливок введен единый ГОСТ 26645 "Отливки из металлов и сплавов" получаемые любым способом из черных, цветных металлов и сплавов. Данный стандарт устанавливает точность отливки - допуски размеров, формы, расположения и неровностей поверхности, допуски массы и припуски на обработку.

Точность отливки характеризуется 4-мя показателями:

1. классом размерной точности (22 класса);
2. степенью коробления (11 степеней);
3. степенью точности поверхностей (22 степени);
4. классом точности массы (22 класса).

Обязательному применению подлежат классы размерной точности и точности массы отливок. Стандартом предусмотрено 18 рядов припусков отливок.

В технических требованиях чертежа отливки должны быть указаны нормы точности отливки в следующем порядке:

1. класс размерной точности;
2. степень коробления;
3. степень точности поверхностей;
4. класс точности массы;
5. допуск смещения отливки.

Пример условного обозначения точности отливки 8-го класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещение 0,8мм:

Точность отливки 8-5-4-7 См 0,5 ГОСТ 26645 Допускается указывать сокращенную номенклатуру норм точности отливки, при этом указание классов размерной точности и массы отливки является обязательным. Ненормируемые показатели точности заменяются нулями, а обозначение смещения опускают:

*Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645.*

В технических требованиях чертежа отливки должны быть указаны в следующем порядке значения номинальных масс детали, припусков на обработку, технологических напусков и массы отливки. Например, для массы детали 20,35 кг, припусков на обработку 3,15 кг, для технологических напусков в 1,35 кг и для массы отливки 24,85 кг запись в технических условиях чертежа отливки будет:

*Масса 20,35-3,15-1, 35-24,85 ГОСТ 26645*

Для необрабатываемых отливок или при отсутствии напусков соответствующие величины обозначаются нулем. Например:

*Масса 20,35-0-0-24,85 ГОСТ 26645*

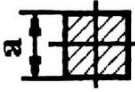
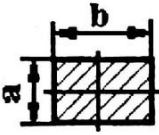
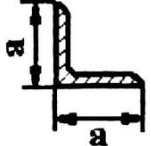
Технологичность конструкции отливок оценивают показателями, главными из которых является коэффициент использования металла (КИМ) и коэффициент необрабатываемой поверхности (КНП). КИМ - отношение массы готовой детали к массе металла, использованного для получения ее заготовки. КНП - отношение механически необрабатываемой поверхности ко всей поверхности отливки.

### **2. 3. Характеристика заготовок, полученные прокаткой**

Использование сортового проката для изготовления детали в качестве заготовки позволяет снизить расход материала, трудоемкость изготовления детали, затраты времени и денежных средств, благодаря приближению формы и размеров заготовки сортового проката к форме и размерам детали. На станах сортовой прокатки получают сортовой прокат разнообразного поперечного сечения: круглое, квадратное, шестигранное, прямоугольное, уголковое (равнобокое и неравнобокое) и другого сечения. В некоторых случаях в качестве заготовок используют горяче- и холоднодеформированные трубы.

Сталь обыкновенного качества в зависимости от размеров поперечного сечения относится к мелкосортной, среднесортной или крупносортной. В таблице 2.1 представлены некоторые виды сортового проката

Таблица 2.1. Группы сортового проката ( размеры в мм.)

Сечение профиля	Группа сортового проката		
	Мелкосортная	Среднесортная	Крупносортная
	10...19	20...30	> 30
	10...19	20...30	> 30
	b = 12...45	b = 50...55	b > 55
	≤ 32	36...45	> 45

Примеры условного обозначения заготовок из сортового проката:

Заготовка квадратная  $\frac{150 \text{ГОСТ } 4693}{45 \text{ГОСТ } 11880}$

В числителе ГОСТ на сечение, в знаменателе - марка стали и ГОСТ на химический состав и свойства стали.

В качестве заготовок широко используется стальная полоса. Пример условного обозначения широкополосной стали марки Зсп, толщиной 20 мм, шириной 500 мм, с ребровой кривизной по классу А:

Полоса  $\frac{A20 \times 500 \text{ГОСТ } 82}{СтЗсп \text{ГОСТ } 14637}$

#### 2. 4. Характеристика поковок и штампованных заготовок

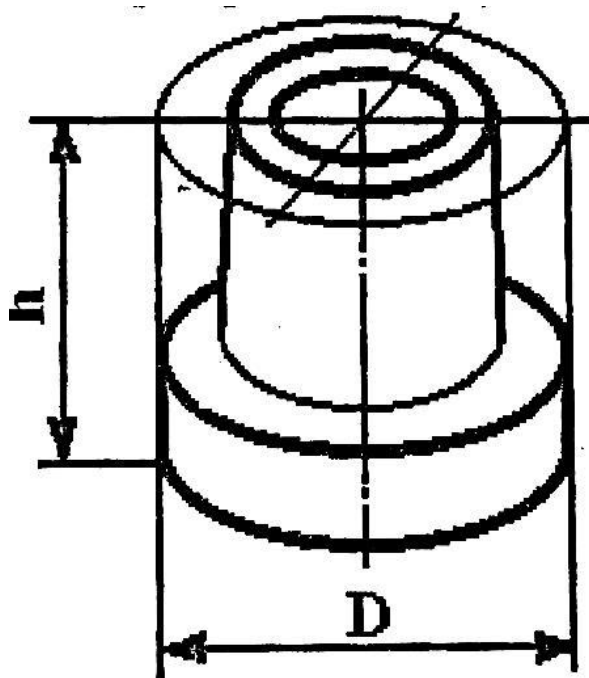
Заготовки, получаемые обработкой давлением подразделяются на поковки и штампованные заготовки. Поковка - заготовка, полученная технологическим методомковки. Штампованная заготовка - заготовка, полученная технологическим методом штамповки (ГОСТ 3.1109). Нельзя заменять термин



"штампованная заготовка" термином "штамповка", так как термин "штамповка" подразумевает процесс обработки металлов давлением с помощью штампа. При получении заготовок обработкой давлением припуски и допуски на заготовки устанавливаются в зависимости от ее массы и размеров, степени сложности, класса точности, группы стали и шероховатости обработанной поверхности.

Заготовки в зависимости от назначения изготавливаемых из них деталей подразделяются:

- по точности изготовления: специальный класс точности (выше класса 1), повышенной точности - класс 1, нормальный класс точности - класс 2;
- по группам стали: группа М1 - заготовки из углеродистой (углерода до 45%) и легированной (до 2%) стали, группа М2 - заготовки из легированной стали, кроме сталей группы М1;
- по конфигурации поверхности разъема штампа: с плоской поверхностью разъема - П, с изогнутой поверхностью - И;
- по степени сложности: первой степени сложности - С1, второй - С2, третьей - С3 и четвертой - С4.



Степень сложности заготовки рассчитывается по  $C = m_z / m_{\phi}$ .

где  $m_z$  - масса (объем) заготовки,  $m_{\phi}$  - масса (объем) геометрической фигуры (цилиндра или параллелепипеда), в которую вписывается данная заготовка (рис. 2.1)

В таблице 2.1 указана степень сложности поковок и штампованных заготовок

Рис. 2.1 Схема определения массы (объема) геометрической фигуры.

Таблица 2.1. Степень сложности поковок и штампованных заготовок

Степень сложности	C1	C2	C3	C4
Отношение C	св. 0,63 до 1,0	св. 0,32 до 0,63	св. 0,16 до 0,32	до 0,16

Для заготовок, полученных на ГКМ, допускается определять степень сложности формы в зависимости от числа переходов:

C 1 - не более 2-х переходов,

C2 - при трех переходах,

C3 - при четырех переходах,

C4 - более четырех переходов.

## 2. 5. Характеристика прессованных профилей

В последние годы все шире используют профильные заготовки, полученные прессованием. Горячепрессованные профили изготавливаются из конструкционных, коррозионностойких и жаропрочных сталей. Минимальная толщина элемента профиля 5 мм, длина до 8 м.

Прессованные профили изготавливаются также из алюминия, магниевых и титановых сплавов.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Дайте определение заготовки.
2. Перечислите основные требования к заготовке.
3. Назовите показатели точности литейных отливок.
4. Приведите пример условного обозначения заготовок из сортового проката.
5. Чем отличается поковка от штампованной заготовки?
6. Перечислите виды степеней сложности штампованных заготовок.
7. Как определяется степень сложности заготовки?

## ГЛАВА 3

### ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК ЛИТЬЕМ

#### 3.1. Основы литейного производства заготовок

Литейное производство - технологический процесс получения заготовок, называемые отливками, путем заливки расплавленного металла в литейную форму. Существует около 100 способов технологии литья. Некоторые способы литья позволяют получать отливки с очень высоким качеством поверхности, а также высокой точностью размеров, что практически исключает их последующую механическую обработку.

Применяемые в литейном производстве сплавы можно разделить на 5 групп: 1) чугуны и стали; 2) бронзы и латуни; 3) сплавы алюминия; 4) магниевые сплавы; 5) сплавы на основе титана, хрома, молибдена, цинка, олова и других металлов. Наибольшее количество литья (около 70 % от массы всех отливок) производят из серого чугуна (включая модифицированный и высокопрочный), далее идет стальное литье (около 20 %), литье из ковкого чугуна (около 8 %), из медных, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов (менее 5%). Кроме традиционных литейных сплавов - чугуна, стали и бронзы, все шире применяются для получения заготовок (отливок) нержавеющей, жаропрочные и другие материалы с особыми физико-механическими свойствами. При выборе способа литья необходимо учитывать технологические, физико-механические свойства литой заготовки, область применения и другие характеристики. В таблице 3.1 дана краткая характеристика наиболее распространенных способов литья.

Существуют и другие методы литья, но их использование при производстве заготовок для деталей транспортных и технологических машин ограничено.

#### 3.2. Получение заготовок в песчаной литейной форме

Заготовки, получаемые в песчаных литейных формах, имеют толщину стенок от 2 мм, длину до 30 метров и массу от нескольких килограммов до десятков тонн. Такое большое разнообразие отливок изготавливается в формах, приготовленных из различных материалов. Но наиболее широко применяются песчано-

глинистые смеси, благодаря их дешевизне и малой трудоемкости приготовления литейной формы.

Таблица 3.1. Основные способы литья и область их применения.

В песчаные формы	От опытного до крупносерийного производства отливок массой от 0,2 кг до десятков тонн.	Универсальный способ литья практически из любых металлов. Большой расход формовочных материалов, необходимость больших площадей и высококвалифицированных рабочих.
В кокиль	В массовом и крупносерийном производстве разнообразных не сложных по конфигурации отливок массой до 1000 кг.	Способ литья заготовок из чугуна, стали и цветных сплавов. Отливки имеют повышенные механические характеристики, минимальные припуски на механическую обработку.
В оболочковые формы из песчано-смоляных смесей.	В крупносерийном и массовом производстве, получение преимущественно сложных и ответственных отливок массой 25...30 и реже - до 100 кг.	Отливки с повышенной точностью размеров и с малой шероховатостью поверхностей из чугуна, стали и цветных металлов. Можно получать тонкостенные отливки. Объем механической обработки может быть сокращен на 30...50%.
По выдавливаемым и газифицируемым моделям.	В серийном и массовом производстве, особенно из труднообрабатываемых сплавов. Масса заготовок в среднем до 500 г.	Получение заготовок сложной конфигурации, практически исключение последующей механической обработки. Получение заготовок из большинства сплавов, в том числе и жаропрочных.
Под давлением	Для крупносерийного и массового производства сложных фасонных отливок из цветных сплавов.	Высокая производительность процесса, снижение до 90% последующей механической обработки. Затруднительно изготовление отливок из черных металлов.
Центробежное	В серийном производстве, стальные и чугунные отливки тел вращения	Высокопроизводительный процесс. Способ применяется и для изготовления биметаллических заготовок.

Из песчано-глинистых смесей изготавливают только разовую литейную форму (разрушаемую при извлечении из опоки готовой отливки).

Литейные формы изготавливают ручным или машинным способами. Ручную формовку применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства. Существует несколько разновидностей ручной формовки, но наиболее распространен способ изготовления литейных форм по неразъемным или разъемным моделям в 2-х опоках.

При ручной формовке рабочий-формовщик должен иметь высокую квалификацию и опыт работы. Машинную формовку широко применяют в условиях серийного и массового производства самых разнообразных отливок. При машинной формовке облегчается труд рабочих-формовщиков, повышается производительность их труда, уменьшается количество бракованных отливок. Этот способ формовки легко автоматизируется. В современных формовочных машинах процессы уплотнения формовочной смеси в опоках осуществляются:

- прессованием;
- вибропрессованием;
- встряхиванием;
- уплотнением смеси пескометом;
- специальными методами уплотнения смеси в форме.

### **3. 3. Получение заготовок в металлической форме**

Получение заготовок литьем в металлическую форму (кокиль) применяется в массовом и крупносерийном производстве для получения разнообразных несложных по конфигурации отливок массой до 1000 кг. Данный способ литья по сравнению с литьем в песчаные формы имеет ряд преимуществ:

- повышение производительности труда в 1,5.. .6 раз,
- долговечность формы,
- ускоренное охлаждение в форме отливки,
- повышение точности отливок и уменьшение шероховатости поверхности,
- улучшение условий труда, решение вопросов, связанных с экологией.

К недостаткам литья в кокиль относятся:

- ограниченность применения по геометрической сложности и массе заготовки,
- увеличенная продолжительность подготовки производства,
- большая трудоемкость изготовления оснастки,
- при литье чугуновых отливок получение неоднородности - структуры.

### **3. 4. Получение заготовок литьем по выплавляемой модели**

Технология производства отливок по выплавляемым моделям имеет много вариантов основных операций, а также модельных и формовочных составов.

Применяется обычно для получения мелких и сложной формы деталей массой до 35 кг из стали и других труднообрабатываемых сплавов с температурой плавления до 1600°C. При этом достигаются большая точность размеров (11... 13 квалитет) и малая шероховатость поверхности ( $R_a = 0,08 \dots 0,16$  мкм), благодаря чему практически отпадает механическая обработка. Для получения деталей с высокоточными размерами достаточны лишь шлифование и полирование.

Существенным недостатком данного способа получения заготовок является длительность технологического процесса, высокая себестоимость отливок, керамическая форма служит один раз.

Одним из направлений в развитии данного способа литья является применение легкорастворимых и газифицируемых моделей. Легкорастворимые модели изготавливают, например, из составов на основе мочевины с добавками полиэфирного спирта. Такие модели легко растворяются в обычной воде. При литье по газифицируемым моделям их изготавливают из вспененного полистирола из керамической формы не удаляют. Эти модели разлагаются во время заливки жидкого металла. Такой способ получения отливки значительно снижает ее себестоимость, обеспечивая высокое качество литья.

### **3. 5. Получение заготовок литьем в оболочковую форму**

Данный способ применяют в условиях массового и серийного производства небольших, преимущественно тонкостенных отливок. Отливку получают с помощью 2-х специальных оболочковых форм, изготавливаемых из мелкозернистого кварцевого песка (92... 95%) и термоактивных смол (8...5%), служащих связкой для песка. При нагревании до 140... 160 С эти смолы расплавляются, превращаясь в клейкую массу, и обвалакивают зерна песка, а затем при повышении температуры до 250...300°C уже через несколько секунд затвердевают. Этим свойством смолы и пользуются, чтобы получать твердую оболочковую форму.

В оболочковые формы заливают чугун, сталь, а также сплавы цветных металлов. Процесс получения форм легко механизуется и автоматизируется.

Основными недостатками литья в оболочковые формы являются высокая стоимость формовочной смеси, выделение вредных газов при нагреве оболочек и заливке металла и что оболочковая форма служит один раз.

### **3. 6. Получение заготовок литьем под давлением**

При литье под давлением жидкий металл поршнем машины подается в разъемную стальную форму, называемой пресс-формой. Литье под давлением применяется для алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов, реже для медных сплавов. Заготовки имеют точные размеры, а поверхности - малую шероховатость. Масса отлитых деталей колеблется от нескольких граммов до десятков килограммов. Существуют несколько схем процесса литья под давлением.

Существенные недостатки процесса литья под давлением - быстрое изнашивание прессующей пары (поршня и камеры прессования), что приводит к снижению давления прессования, высокая стоимость пресс-форм.

В последние годы используется технология получения отливок на машинах с холодной горизонтальной камерой прессования без применения электропечи.

### **3. 7. Получение заготовок центробежным литьем**

Центробежное литье представляет собой заливку металла во вращающиеся формы. Отливки формируются под действием центробежных сил. Данным способом литья получают фасонные отливки произвольной конфигурации и отливки полых тел вращения - втулки, диски, кольца, фланцы, трубы и т.д.

Центробежное литье обладает следующими преимуществами:

- получение отливок с плотной структурой и высокими механическими свойствами,
- производство отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью,
- возможность изготовления полых отливок без применения стержней,
- повышенный выход годного металла из-за отсутствия литников и прибылей (полые отливки) и снижение массы литниковой системы при получении фасонных отливок,
- рафинирование жидкого металла от газовых и неметаллических включений,

- возможность получения отливок с двухслойными (биметаллическими) стенками из разных металлов.

К недостаткам способа относятся:

- не обеспечивает получение качественных фасонных отливок;
- ограничение по массе изготовления фасонных отливок - не более 25 кг;
- малая точность формы и размеров свободной поверхности;
- высокая шероховатость свободной поверхности (до 80...160 Кг).

Получение фасонных отливок осуществляется с помощью металлических, песчано-глинистых, керамических и других форм.

Полые цилиндрические заготовки, а в ряде случаев и готовые изделия, отливаются во вращающихся формах с горизонтальной, вертикальной или наклонной осью. Применение форм с горизонтальной осью вращения более предпочтителен.

### **3. 8. Производства отливок**

Для производства отливок применяют металлы и сплавы, обладающие хорошими литейными свойствами, что позволяет получать из них отливки весьма сложной конфигурации.

К высоким литейным свойствам сплавов относятся хорошая жидкотекучесть, малая усадка при затвердевании и дальнейшем охлаждении, незначительная ликвация и низкая способность сплавов поглощать газы при плавке и заливке.

*Жидкотекучестью сплава* называется его способность полностью заполнять полость литейной формы и точно воспроизводить очертание этой полости. Высокой жидкотекучестью обладают серый чугун, силумины, цинковые и медные сплавы.

Усадкой называется свойство металлов и сплавов уменьшаться в линейных размерах и объеме при охлаждении от температуры заливки до комнатной. С усадкой сплавов связано образование многих пороков в отливках: усадочные раковины, коробление и трещины.

Ликвацией называется образование неоднородности химического состава в различных частях отливки. Ликвация может быть уменьшена перемешиванием



сплава перед его заливкой в и последующим быстрым охлаждением отливки.

Способность металлов и сплавов поглощать выделяемые газы (азот, водород, кислород и др.) увеличивается с повышением температуры перегрева жидкого металла, в результате чего его литейные и механические свойства понижаются.

### **3. 9. Технология приготовления расплава**

Технология приготовления расплава (жидкого металла) состоит из нескольких этапов: - выбор исходных шихтовых материалов;

- подготовка исходных шихтовых материалов к плавке;
- расчет состава шихты;
- шихтовка;
- плавка шихты;
- металлургическая обработка расплава.

*Шихтовые материалы.* При конструировании транспортных и технологических машин используют литые детали из многих сплавов. Наиболее распространенным литейным сплавом является серый чугун, затем углеродистая и легированная стали, а также цветные металлы и сплавы. В качестве шихтовых материалов используются литейные металлы и сплавы, металлический лом, отходы черных и цветных металлов, возврат собственного производства (литники, прибыли, бракованные отливки), также специальные присадочные материалы - ферросплавы, легирующие добавки, флюсы для образования шлака, модификаторы.

*Плавка шихты.* Для плавки шихты используют различные плавильные печи и устройства. Плавку чугуна осуществляют в вагранках, индукционных и дуговых электропечах. В ряде случаев плавку ведут в двух печах - сначала в вагранке, а затем, для более высокого нагрева и доводки расплава по химическому составу, в электропечи. Такой способ плавки называется дуплекс-процесс. Плавку стали производят в электродуговых и индукционных печах, а в последнее время методом электрошлакового переплава и в вакуумных печах. Плавку цветных металлов и сплавов осуществляют в электропечах.

*Металлургическая обработка расплава.* Metallургическая обработка расплава обеспечивает высокие механические и эксплуатационные свойства отливок. Расплав в печи подвергают модифицированию (для улучшения структуры сплава), дегазации (для освобождения расплава от газов), рафинированию (для освобождения расплава от неметаллических включений).

В качестве основных шихтовых материалов при получении расплава (жидкого металла) для отливок из серого чугуна применяют:

- литейный чушковый чугун (чушковый ~ так называли слитки литейного чугуна массой не более 20 кг);
- чугунный и стальной лом;
- отходы собственного производства;
- ферросплавы;
- раскислители;
- легирующие, рафинирующие и модифицирующие присадки.

*По эксплуатационным свойствам стальные отливки подразделяются на:*

- 1) отливки общего назначения, изготавливаемые из углеродистых и низколегированных сталей;
- 2) отливки специального назначения, получаемые из легированных сталей со специальными физико-химическими и другими свойствами.

При получении литейных расплавов из цветных металлов в качестве исходных шихтовых материалов используют: 1) первичные металлы (медь, цинк, олово, свинец, алюминий и др.), получаемые с металлургических предприятий в виде чушек массой до 25 кг;

2) вторичные цветные металлы, получаемые переплавом стружки в виде чушек массой до 25 кг;

3) лигатуры - специальные промежуточные литейные сплавы основного компонента с легирующими элементами;

*Лигатуры необходимы для введения в расплав тугоплавка или легкоокисляемых элементов. Так, например, для легирования отливок из бронз и латуней, при температуре расплава около 1250°C тугоплавким железом с температу-*

рой плавления  $t = 1539^{\circ}\text{C}$  используют лигатуру  $90\%\text{Cu} + 10\%\text{Fe}$  с температурой плавления  $900^{\circ}\text{C}$ . Для легирования легкоокисляющимся алюминием применяют лигатуру  $50\%\text{Cu} + 50\%\text{Al}$  и т.д.

- 4) вторичные цветные металлы в виде машинного лома и промышленных отходов;
- 5) возврат собственного производства (литники, прибыли, бракованные отливки);
- 6) флюсы для очистки цветных сплавов от вредных примесей.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Перечислите основные способы литья и области их применения.
2. Из чего состоит модельный комплект? Дайте характеристику каждому элементу.
3. Назначение стержней, их состав, процесс их изготовления.
4. Дайте характеристику механо-технологических свойств песчано-глинистых смесей.
5. Приведите отличия при различных способах машинной формовки.
6. Особенности литья в металлические формы по сравнению в песчаные формы.
7. Назовите преимущества получения отливок в оболочковой форме.
8. Приведите примеры получения отливок при центробежном литье.
9. Дайте характеристику литейных свойств металлов для получения отливок.

## ГЛАВА 4

### ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ДАВЛЕНИЕМ

#### 4. 1. Прокатное производство

Прокаткой называется биологический процесс получения и профильной (сортовой) продукции давлением непрерывно литых заготовок путем изменения их формы и размеров обжатием вращающимися валками на специальных агрегатах прокатных станях.

Существуют прокатные станы для выпуска так называемого плоского проката в виде стального листа или рулонной листовой стали и станы для прокатки профильного (сортового) проката.

Широко применяются три основных способа прокатки, различающиеся по характеру протекания деформации: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (рис. 4.1). При продольной прокатке (а) металл заготовки 2 обжимается между двумя валками 1, вращающимися в противоположные стороны, изменяя размеры поперечного сечения заготовки и увеличивая ее длину. Этот вид прокатки имеет наибольшее применение. Технологию поперечной прокатки (б) используют для изготовления изделий, имеющих форму тел вращения (оси, шестерни и т.п.). При данной прокатке валки вращаются в одном направлении, а заготовка прижимается к валкам вдоль их продольной оси под действием внешней силы  $O$ .

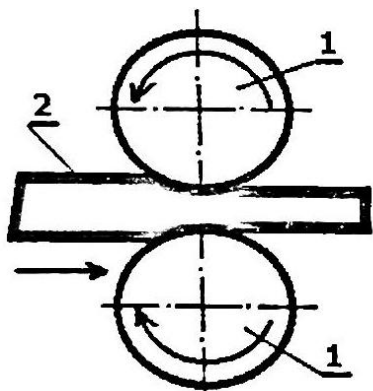


Рис. 4.1, а

Продольная  
Прокатка

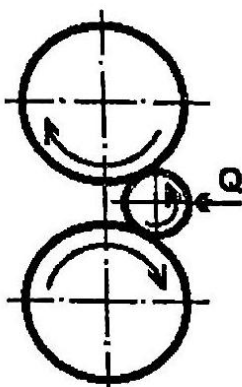


Рис. 4.1, б

Поперечная  
прокатка

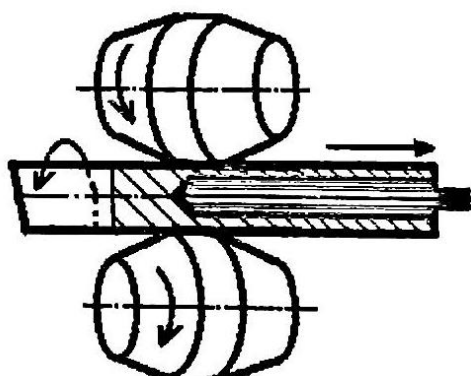


Рис. 4.1, в

Поперечно- винтовая  
прокатка.

Деформируемая заготовка получает вращательное движение уменьшается ее диаметр и увеличивается длина. При поперечно-винтовой прокатке (в) валки имеют специальную форму, устанавливаются под углом друг к другу (перекос в двух плоскостях). Наклон валков по отношению к оси обрабатываемой заготовки, лежащей в горизонтальной плоскости, обеспечивает поступательное движение, а вращение обоих валков в одном направлении вызывает вращательное движение заготовки.

На станах при такой схеме прокатки получают бесшовные трубы, а также производится обкатка труб для изменения их геометрических параметров по диаметру и толщине стенки.

#### **4.1.1. Технология продольной прокатки**

Готовый прокат получают на прокатных станах, которые по назначению в зависимости от типа и конструкции подразделяются на сортовые станы, например, крупно- или мелкосортные, толсто-, средне- и тонколистовые и специальные (трубные, профилегибочные и др.).

Прокатный стан - это комплекс машин для выполнения основных операций - деформация металла заготовки - и вспомогательных операций - нагревательные колодцы (печи), резка, охлаждение, правка, штабелирование или свертывание в рулоны, уборка после прокатки.

Оборудование для деформации металла заготовки называется рабочей клетью, которая состоит из станины, валков, механизма для регулирования степени обжатая и других вспомогательных агрегатов.

Основу клетки составляют валки (рис. 4.2,а), состоящие из рабочей части (бочки) 1, шеек 2 и соединительных частей 3 со шпинделями электроприводов валков.

Валки с гладкой бочкой (цилиндрические) применяют в лис'юных станах, а валки, на рабочей поверхности которых выточены специальные вырезы (ручьи), используют в сортовых станах (рис. 4.2,б). Два ручья, расположенные на верхнем и нижнем валках один против другого, образуют калибр. По форме калибры бывают простые (прямоугольные, квадратные, ромбические, оваль-

ные, круглые) и фасонные для производства балок, швеллеров, уголков и других профилей. При продольной прокатке зазор между рабочими валками клетки устанавливается меньше толщины подводимой заготовки. Процесс прокатки происходит за счет силы трения, возникающей между поверхностями валков и обрабатываемой заготовки. Исходная заготовка, деформируясь между двумя валками, уменьшается по толщине и увеличивается по длине. При этом несколько увеличивается и ее ширина.

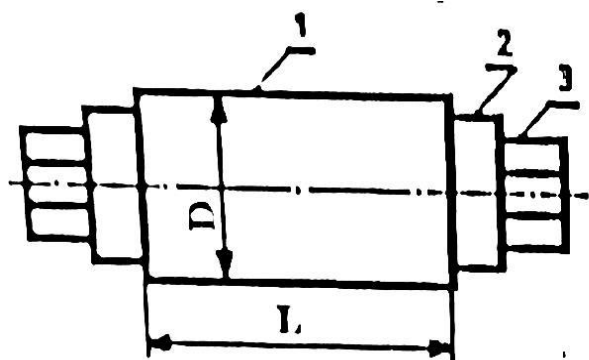


Рис. 4.2, а Валок с гладкой бочкой.

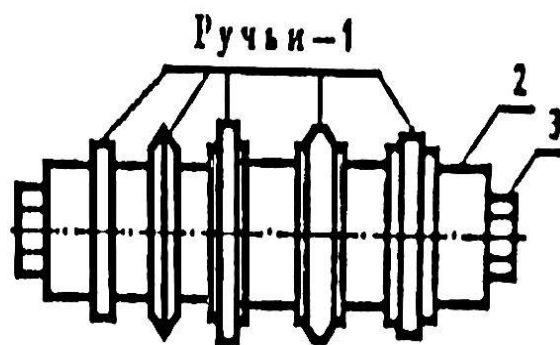


Рис. 4.2.,б Ручьевого валок.

#### 4.1.2. Производство сортовых профилей

В зависимости от размеров все сортовые профили делят на крупные, средние и мелкие, которые производят на соответствующих названию станах. Большинство сортовых станов имеют примерно одинаковый технологический цикл: нагрев заготовки, прокатка, охлаждение, резка на мерные длины, маркировка и уборка.

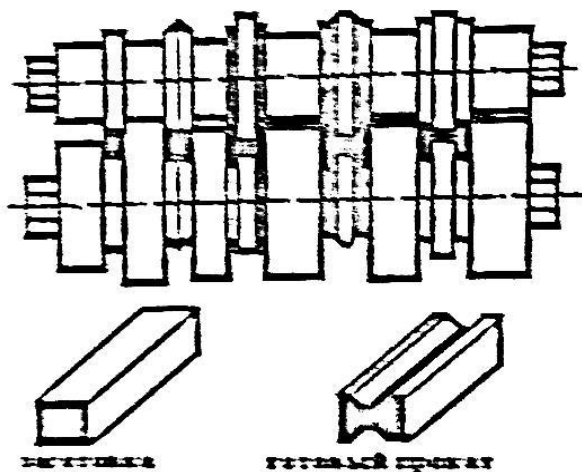


Рис. 4.3 Калиброванные валки.

На крупных станах прокатывают круглые и квадратные профили 80...300 мм, балки, швеллеры № 12... 24, трубную заготовку. На среднесортных станах производят круглые и квадратные профили размером 30...80 мм, швеллеры № 5... 10, уголки и т.п.

На мелкосортных станах прокатывают различные профили размерами не более 30 мм. Разнообразные профили получают благодаря калибровке валков. Калибровкой валков называют выбор формы и расположения калибров на валках и распределение обжатий по количеству проходов для получения готового профиля заданных размеров.

Путем последовательного прохождения заготовки через соответствующие калибры осуществляют постепенное превращение ее в нужный профиль (рис. 4.3). Число проходов заготовки через валки соответствует числу калибров на данных валках.

Калибры подразделяются на подготовительные и чистовые. Подготовительные калибры служат для постепенного приближения поперечного сечения заготовки к готовому профилю. Чистовые калибры служат для получения готового проката заданной точной формы.

#### **4. 1. 3. Производство горячее катанных листов**

Горячей прокаткой изготавливают толстую (более 4-х мм) и тонкую (до 1 мм) стальной лист. Современные толстолистовые станы прокатывают листы сечением 4...160 x 600...5000 мм и длиной до 15 метров сначала в черновых, а затем в чистовых клетях. Заготовки перед прокаткой нагревают до 1200...1250 С. В начале заготовка проходит через специальную двухвалковую клетку - окалиноломатель, далее черновые клетки, где обжимается на 70...80% и затем чистовые клетки для окончательного обжатия.

После выхода из чистовой клетки листы охлаждают на рольганге водяным душем до 600...850°С, правят на роликовых машинах и охлаждают окончательно. Готовые листы режут на заданный размер и отправляют и направляют в термическое отделение для операции нормализация.

#### **4. 1. 4. Производство холодно катанных листов**

Технологический процесс получения холодно катанных листов состоит из следующих основных операций: травление для очистки поверхности заготовки от окалины, прокатка, отжиг для снятия наклепа, дрессировка и отделка. Прокат осуществляется на непрерывных станах, состоящих из 3...6 клеток с

последующим свертыванием листов в рулоны. Прокатку осуществляют со смазкой. Как правило, листы на непрерывном стане прокатывают за один проход. В некоторых случаях для получения необходимых физико-механических свойств листа после первой прокатки рулон отжигают и затем прокатывают вторично на этом же стане.

Операция дрессировки - холодная прокатка без смазки с обжатием 0,5... 3% на специальные станы - предназначена для получения гладкой поверхности и повышения прочности поверхностного слоя материала листа.

В последние годы используют, так называемые, станы бесконечной прокатки. Суть процесса на этих станах заключается в том, что перед прокаткой на стане листы непрерывно свариваются в бесконечную полосу, а после прокатки при помощи "летучих" ножниц и моталок полосу формируют в рулоны. Для повышения коррозионной стойкости холодно катанных стальных листов широко применяют покрытие (операция плакирования) их различными пластиками, основными из которых являются полихлорвинил, полиэтилен. Плакирование листа осуществляется по следующей технологии:

- 1) нанесение на поверхность листа клея (например, марки ПЭД-Б) толщиной 15... 18 мкм;
- 2) подогрев токами высокой частоты до 200°С для прочного сцепления клея с металлом;
- 3) нанесение на поверхность листа полихлорвиниловой или иной пленки;
- 4) прокатка листа при температуре 160... 180 С при минимальном давлении;
- 5) охлаждение плакированного листа и сматывание его на моталке в рулон.

Толщина пластмассового покрытия в зависимости от назначения колеблется в пределах 0,1... 0,4 мм.

#### **4. 2. Получение заготовок процессамиковки**

Ковкой называется обработка металла статическим или динамическим давлением с помощью универсального инструмента.

Заготовка, полученная ковкой, называют поковкой. Поковки могут иметь самую разнообразную форму и массу. Большие поковки получают



непосредственно из слитков, поковки средних и малых размеров - из прокатных заготовок.

Поковки небольших масс (десятки килограммов) можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Но, несмотря на ряд преимуществ штамповки, ковка в условиях единичного и мелкосерийного производства экономически более целесообразна, так как используется универсальный инструмент и оборудование, пригодные для изготовления поковок различной формы и размеров. К операциям ковки относятся протяжка, осадка, гибка, пробивание или прошивание отверстий, рубка и т.д. Ковку выполняют в основном на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах.

### **4.3. Получение заготовок процессами штамповки**

Операция штамповки подразделяется на горячую и холодную объемную штамповку и холодную листовую штамповку. Производительность штамповки в десятки раз больше, чем ковки. Кроме того, при штамповке достигается большая точность размеров и значительно меньшая шероховатость поверхности. Однако штамповка выгодна лишь в массовом и серийном производстве, потому что затраты на изготовление стальных форм (штампов) оправдываются лишь при выпуске значительного количества поковок.

#### **4.3.1. Горячая объемная штамповка**

Способом горячей объемной штамповки можно получать штампованные заготовки самой разной формы и массой до 350 кг из всех металлов и сплавов, обладающих пластичностью в горячем состоянии. Исходным материалом для горячей объемной штамповки сталей служит сортовой прокат круглого и квадратного поперечные сечений. Горячая объемная штамповка подразделяется в зависимости от типа штампа и оборудования. В зависимости от типа штампа операция штамповки подразделяется на штамповку в открытых, закрытых штампах и штампах для выдавливания. Штамповка в открытых штампах идет с образованием на заготовке облоя, который удаляется после штамповки. В закрытых штампах заготовка получается без облойной. Штамповка на штампах

для выдавливания применяется преимущественно для изготовления грибовидных заготовок.

В зависимости от количества ручьев в штампе различают штамповку в одноручьевых и многоручьевых штампах. В одноручьевых штампах штампуют заготовки простой формы, многоручьевых - сложной формы. Количество ручьев зависит от формы будущей заготовки. Чем сложнее форма, тем больше ручьев. В зависимости от типа оборудования различают объемную штамповку на молотах, на кривошипных горяче-штамповочных прессах (КГШП), на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), на гидравлических прессах и другом оборудовании. Наиболее распространены процессы горячей объемной штамповки на молотах, КГШП и ГКМ. На рис. 4.4 показаны некоторые наиболее типичные заготовки, штампуемые на молотах, на рис. 4.5 - КГШП и на рис. 4.6- ГКМ.

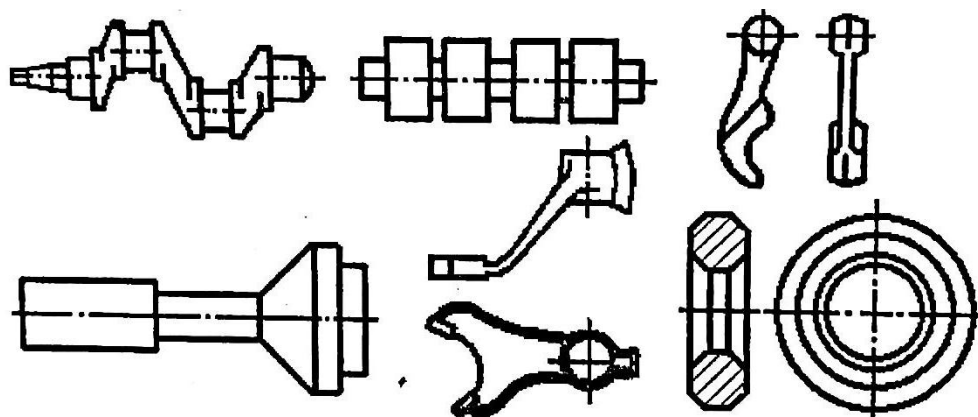


Рис. 4.4 Формы заготовок при штамповке на молотах.

К основным достоинствам штамповки на молотах относятся возможность регулирования энергии, силы и частоты ударов при деформировании заготовки в любом из ручьев штампа. Но из-за ударного характера нагрузок происходит частая разладка штампа. Кроме того, у молотов крайне низок КПД.

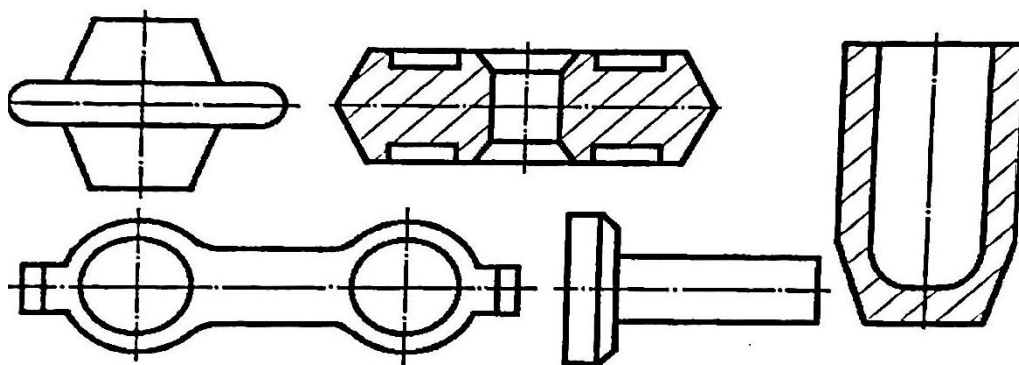


Рис. 4.5. Формы заготовок при штамповке на КГШП.

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) имеет преимущества по сравнению со штамповкой на молотах

- 1) производительность КГШП на 30...50% выше,
- 2) характер работы КГШП безударный, поэтому уровень шума ниже,
- 3) коэффициент полезного действия КГШП в четыре раза выше за счет того, что в каждом ручье заготовка штампуется один раз.

Основные недостатки горячештамповочных прессов: используются только в крупносерийном и массовом производстве, достаточно высокая стоимость, необходимость очистки заготовки от окалины (в результате неударного воздействия штампа на заготовку не происходит отделение окалины от ее поверхности и окалина может быть запрессована в поверхность заготовки, в то время как при штамповке на молотах заполнение ручья осуществляется за несколько ударов).

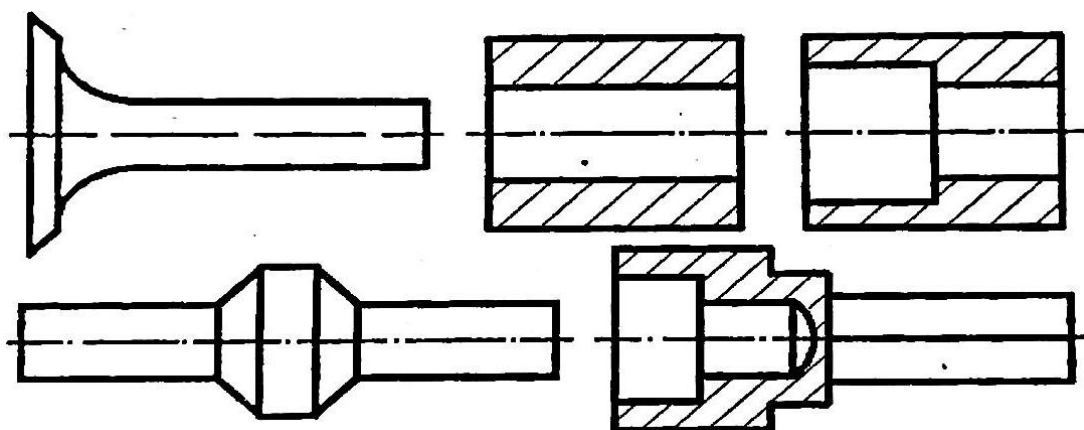


Рис. 4.6. Формы заготовок при штамповке на ГКМ.

К преимуществам ГКМ относят:

1) возможность получения заготовок с длинным стержнем и утолщением на конце, которые получать на другом оборудовании неэкономично,

2) экономия металла при получении заготовок типа колец и втулок за счет отсутствия пленок и штамповочных уклонов,

3) более высокая точность размеров заготовки за счет лучшего направления элементов штампа и постоянной величины хода ГКМ.

Недостатки: меньшая универсальность по сравнению с молотами и КГШП, штамповка заготовок осуществляется только в торец, штамповка заготовок небольшой массы (до 150 кг), необходимость очистки заготовки от окалины или применение безокислительного нагрева, высокая стоимость ГКМ.

При изготовлении заготовок горячей объемной штамповкой операции выполняются в следующем порядке.

1. *Резка заготовок.*

2. *Нагрев заготовок.*

3. *Штамповка.*

Все последующие операции, которые выполняются после штамповки, называются отделочными.

4. *Обрезка облоя* (выполняется после штамповки в открытых штампах). Крупные и средние заготовки проходят обрезку сразу после штамповки в горячем состоянии, а мелкие - в холодном.

5. *Правка или калибровка заготовок.* Мелкие и средние заготовки подвергаются правке в холодном состоянии, крупные - сразу же после обрезки облоя. Калибровка применяется для повышения точности отдельных элементов формы заготовки и ее размеров. В процессе объемной штамповки производится *термообработка заготовок*, которая необходима для устранения внутренних напряжений, измельчения зерна и получения необходимой структуры и твердости и травление заготовок, для своевременного выявления дефектов и последующего их устранения.

### 4.3.2. Холодная объемная штамповка

При холодной объемной штамповке достигается: деформационное упрочнение, направленность волокон вдоль конфигурации штамповой заготовки, увеличение коэффициента использования металла (по сравнению с литьем и горячей обработкой – на 30% и более), значительно снижается трудоемкость и другие факторы.

Номенклатура заготовок, получаемых холодной объемной штамповкой очень велика, но, в основном, это метизные детали – болты, гайки, заклепки и т.д.. На Рис. 4.7 показаны отдельные формы заготовок, получаемые данным методом.

Оборудование, применяемое для холодной объемной штамповки, подразделяется на холодновысадочные автоматы и прессы, применяемые значительно реже. Автоматы делятся на однопозиционные и многопозиционные. Многопозиционные автоматы отличаются тем, что формообразующие автоматы отличаются тем, что формообразующие операции производятся при различных позициях заготовки, перемещение которой с одной позиции на другую происходит автоматически. При холодной объемной штамповке можно получать заготовки с утолщением диаметров до 50 мм.

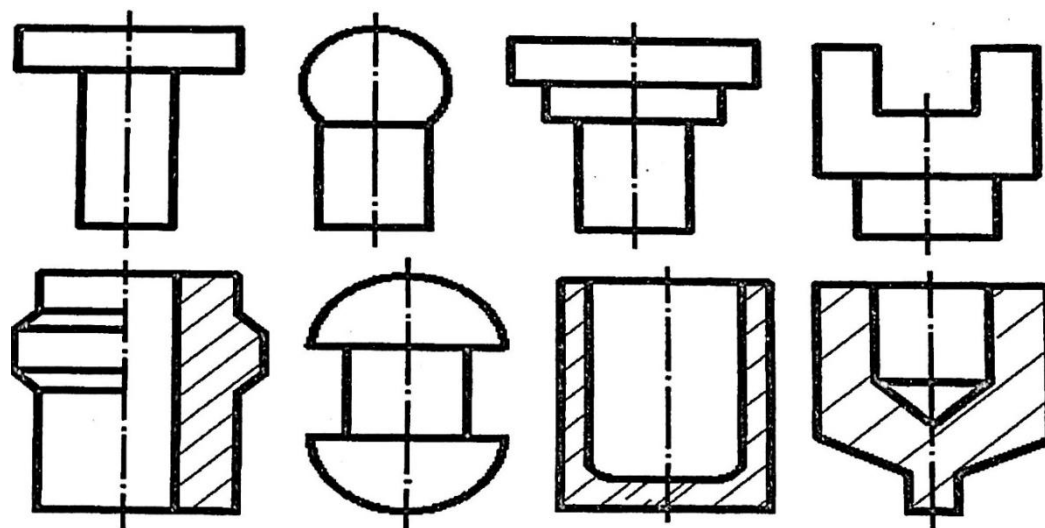


Рис. 4.7 Формы заготовок, получаемых объемной холодной штамповкой

Основными узлами прессов и автоматов являются формообразующие матрицы и пуансоны. Матрицы могут быть цельными или разъемными. На рис. 4.8 показана принципиальная схема холодной объемной штамповки на

однопозиционном автомате в цельной матрице с одноударной высадкой. На однопозиционных автоматах формообразующие операции производятся при неизменном положении заготовки 1 в матрице 3, а изменение формы заготовки

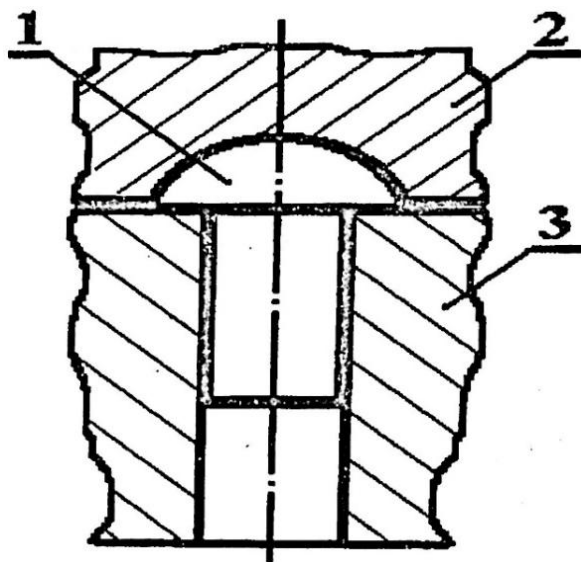


Рис. 4.8 Схема холодной объемной штамповки.

осуществляется пуансоном 2. движение пуансона может быть одно-, двух-, и трехударное. Одной из разновидностью холодной объемной штамповки является холодное выдавливание, применяемое для изготовления мелких и средних деталей взамен изготовлением резанием. Детали, изготовленные этим методом, имеют точные размеры, малую шероховатость и практически не требуют обработку резанием.

Материалы, используемые для холодного выдавливания, должны обладать высокой пластичностью, невысокими пределами текучести и малой склонностью к упрочнению. Применяются в основном алюминиевые, медные сплавы и малоуглеродистые стали.

Одним из недостатков процесса является потребность в приложении больших удельных давлений, что отрицательно сказывается на стойкость инструмента (пуансона и матрицы) и ограничивает применение данного процесса сравнительно небольшими по массе и размерам изделий.

Формообразование заготовки при холодном выдавливании осуществляется по нескольким схемам (рис. 4.9). При прямом выдавливании (рис. 4.9,а) металл течет через отверстие в матрице в направлении движения пуансона под действием силы  $P$ .

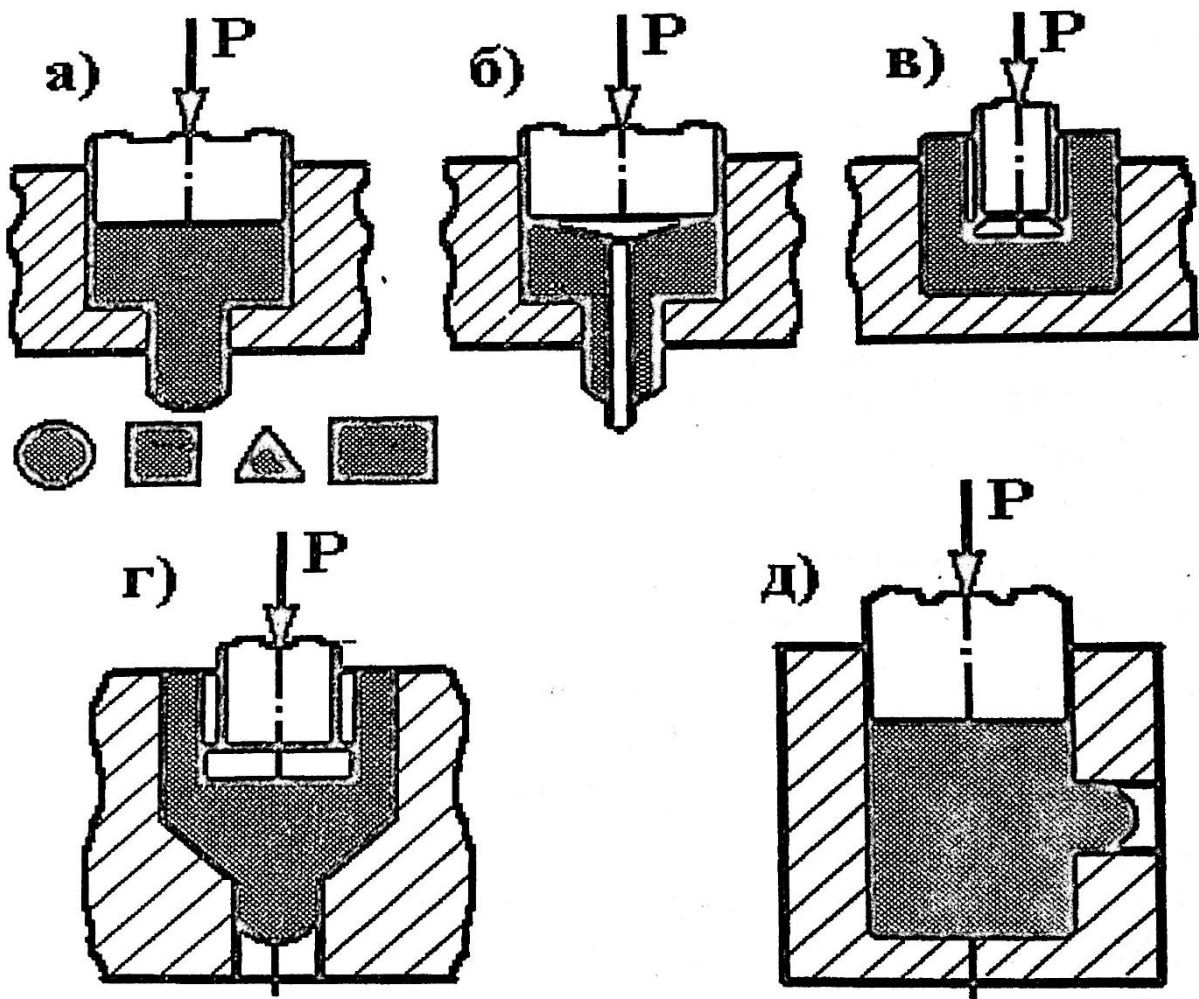


Рис. 4.9 Схемы формообразования заготовки при холодном выдавливании

Форму нижней части заготовка получает в зависимости от формы поперечного сечения отверстия матрицы, а форму верхней части – определяется формой внутренней поверхности матрицы и формой пуансона. Если на торце пуансона имеется стержень, входящий в отверстие матрицы, то заготовка будет иметь сквозное отверстие (рис. 4.9,б). Когда металл течет в направлении, обратном движению пуансона, данная операция называется «обратным выдавливанием» (рис.4.9,в). Если металл течет одновременно и вверх и вниз (рис. 4.9,г), то имеет место комбинированное выдавливание. При боковом выдавливании (рис. 4.9,д) металл вытекает в отверстие, расположенное в боковой поверхности разъемной матрицы. Зазоры между пуансонами матрицами делают по возможности минимальными во избежание заусенца. Механические прессы должны иметь большую жесткость всей конструкции и высокую точность направления ползуна с пуансоном.

### 4.3.3. Холодная листовая штамповка

Форма изделий, полученных холодной листовой штамповкой весьма разнообразна. Исходными заготовками для данной операции служат листы, лены и полосы (ГОСТы 3680, 503,103).

Основными формоизменяющими операциями при холодной листовой штамповке являются: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим и формовка.

*Гибка* - операция с помощью которой плоскую заготовку превращают в изогнутую деталь. Гибка может быть одноугловая (У-образная), двухугловая (П-образная) и многоугловая.

*Вытяжкой* называется операция превращения плоской заготовки в полую деталь любой формы - стаканы, коробки, колпачки и т.д.

*Отбортовкой* называется операция получения горловины на плоской или пространственной заготовке 3 путем вдавливания в отверстие матрицы части заготовки с предварительно пробитым отверстием (рис. 4.10). Рабочими элементами инструмента при отбортовке являются пуансон 2 и матрица 1.

Обжимом называется операция, предназначенная для уменьшения поперечных размеров краевой части полой цилиндрической заготовки 1 (рис. 4.11). Исходным материалом для полой заготовки могут служить трубы, а также полуфабрикаты, полученные вытяжкой. Рабочим элементом инструмента при обжиге служит подвижная матрица 2, которая, перемещаясь вниз, обжимает конец заготовки своей воронкообразной полостью.

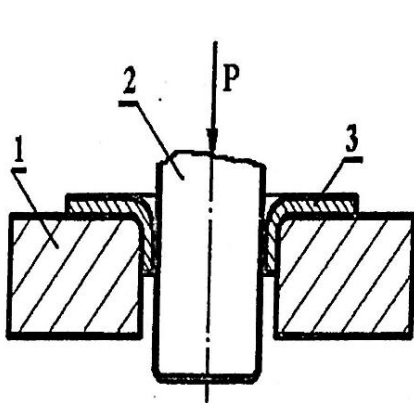


Рис. 4.10 Отбортовка

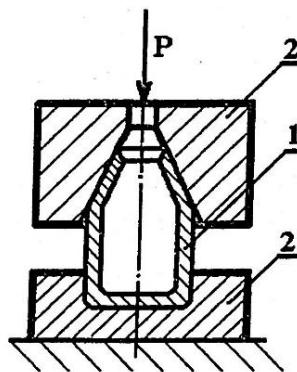


Рис. 4.11 Обжим

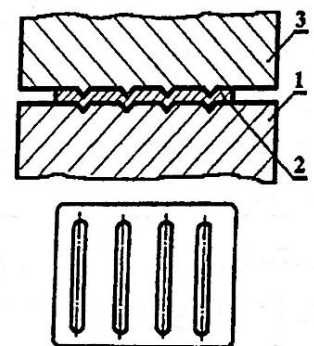


Рис. 4.12 Формовка



*Формовкой* называется операция, при которой заготовка 2, имеющая большую площадь в плане, получает незначительную деформацию в виде местных углублений, ребер и т.п. за счет растяжения материала заготовки и утонения его в зоне деформации (рис. 4.12). Деформирующими элементами являются выступы на пуансоне 3 и впадины на матрице 1.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Что называется ковкой и на каком оборудовании она осуществляется?
2. В чем отличие процесса штамповки в открытых и закрытых штампах ?
3. Перечислите достоинства и недостатки горячештамповочных прессов.
4. Из каких операций состоит изготовление заготовок горячей объемной штамповкой?
5. Перечислите оборудование, применяемое для холодной объемной штамповки.
6. В чем различие в операциях холодной объемной штамповки и холодным выдавливанием?
7. Какая операция называется формовкой?
8. Какая операция называется отбортовкой?
9. Какая операция называется гибкой и вытяжкой?
10. Как получают форму нижней части заготовка?

## ГЛАВА 5

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

#### 5.1. Понятие о производственном процессе

Любую машину, в том числе транспортную или технологическую, следует рассматривать не только как механическое соединение различных деталей, узлов и агрегатов, а как связанное, представляющее собой единое целое. Процесс изготовления машины, так же, как и ее отдельных агрегатов, узлов и деталей, подразделяют на этапы технологической подготовки производства и осуществления производственного процесса. Весь комплекс работ по технологической подготовке производства регламентируется ГОСТом Р 50995.3.1 *"Технологическое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства"*. Технологическая подготовка производства (ТПП) - вид производственной деятельности предприятия (группы предприятий), обеспечивающей технологическую готовность производства к изготовлению изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий. К технологической подготовке относятся обеспечение технологичности конструкции изделия, проектирование технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического оснащения, управление процессом технологической подготовки производства.

Трудоемкость проектирования технологических процессов в большинстве случаев более чем в 2...5 раз превосходит трудоемкость конструирования машин.

Под производственным процессом (ПП) понимают совокупность всех действий инженерно-технических и производственных рабочих и орудий производства, необходимых на данном предприятии (группы предприятий), для изготовления изделий. Производственный процесс включает подготовку средств производства, организацию и обслуживание рабочего места, получение и хранение материалов, полуфабрикатов, комплектующих частей, получение заготовок и их обработка, термообработка, сборка узлов, агрегатов, изделия,

транспортирование заготовок, материалов, деталей на всех стадиях производства, технический контроль, окраску и упаковку готовой продукции и ряд других операций.

В зависимости от вида изделий и специализации машиностроительного предприятия структура его может быть разной. Традиционная структура автономного машиностроительного завода включает в себя следующие основные подразделения:

- заготовительные цеха: литейные, кузнечно-штамповочные и раскроя металлопроката;
- обрабатывающие цеха: механические, термические, металлоконструкций, сборочные, окрасочные;
- цеха вспомогательного производства: инструментальные, модельные, ремонтно-механические, электроремонтные, экспериментальные;
- центральную заводскую лабораторию; вычислительный центр;
- заводоуправление со службами главного инженера, технолога;
- механика, электрика, отдела технического контроля, маркетинга, снабжения и сбыта.

Как видно из перечня операций, осуществляемых производственным процессом данный процесс разделяется на отдельные технологические процессы. Таким образом, технологический процесс является частью производственного процесса. Под самим понятием технологического процесса понимают целенаправленные действия, направленные на изменение состояния предмета производства (ГОСТ 3.1109).

Различают технологические процессы получения заготовок различными методами, механической обработки заготовок для получения деталей, термической обработки для изменения физико-механических свойств изготавливаемых деталей, технологический процесс сборки деталей в узел или узлов в агрегаты или машину в целом, технологический процесс покраски и др.

## 5.2. Виды технологических процессов.

ГОСТ 3.1109 "Термины и определения основных понятий" в единой системе технологической документации (ЕСТД) определяет следующие виды технологических процессов:

- единичный;
- типовой;
- групповой.

**Единичный** технологический процесс - технологический процесс, относящийся к изготовлению изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства. Единичная технология предполагает разработку на каждую деталь своего (единичного) технологического процесса, который должен по возможности учитывать все особенности данной детали и ее заготовки.

Разработка единичных технологических процессов характерна для оригинальных деталей, не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с деталями, ранее изготовленными на данном предприятии. Единичный технологический процесс позволяет достигать высокого качества изготовления детали. Однако создание такого технологического процесса требует больших затрат времени.

В результате может возникнуть ситуация, когда затраты времени на разработку такого процесса становятся значительно больше затрат времени на изготовление детали. Чаще всего это происходит при разработке техпроцесса для изготовления детали на станках с ПУ (с программным управлением): на разработку и отладку управляющей программы к станку для изготовления детали средней сложности требуется несколько дней, а время изготовления детали составляет около часа.

**Типовой** технологический процесс - технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Работу по типизации технологических процессов разбивают на два этапа. Первым этапом является классификация деталей машин. Классификация

предусматривает группировку деталей близких по конструкции, размерам, массе и общности технологического процесса. Работа по классификации деталей сочетается с унификацией и стандартизацией их конструкций. Это дает возможность применить при их изготовлении более прогрессивную технологию, сократить номенклатуру режущих и измерительных инструментов.

Вторым этапом типизации является разработка принципиально общего технологического процесса с установлением типовых операций, схем базирования и конструкций оснастки. Типовая технология предназначена обеспечить минимум разнообразия технологических процессов путем обоснованного сведения их к ограниченному числу типов. Это в свою очередь создаст предпосылки для значительного снижения затрат времени на технологическую подготовку производства, а также на внедрение прогрессивных технологических решений.

Для улучшения работ по использованию принципов типизации технологических процессов в нашей стране разработан "Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения", который служит основой для создания единой системы конструкторско-технологической классификации деталей. Внедрение технологического классификатора позволяет широко использовать вычислительную технику.

Типизация технологических процессов на предприятии способствует:

- внедрению передового опыта;
- упрощает и ускоряет разработку технологических процессов;
- сокращает цикл подготовки производства;
- выявляет потребность в новых видах оборудования и оснастки.

**Групповой** технологический процесс - технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Если при построении типовых технологических процессов к одному типу относятся детали по *общности их конфигурации, технологического маршрута и содержания операций*, то при групповой обработке детали группируются по общности операций, оборудования, на котором эти операции выполняются и единой технологической оснастки. В состав группы

могут быть включены детали из разных классов. Группа деталей создастся для выполнения операции на одном станке таким образом, чтобы их конфигурация позволила сохранить при переходе с детали на деталь в пределах данной группы близкий набор переходов и осуществить их обработку при неизменной наладке. На рис. 5.1 представлена схема построения групповой фрезерной операции для деталей из разных классов (вал, втулка, диск, зубчатое колесо), которые кроме фрезерной операции при изготовлении имеют другие операции технологического процесса (1, 2, 3, 4,... n). Групповая обработка применяется в условиях мелкосерийного производства и особенно эффективна для токарно-револьверных, карусельных, фрезерных, сверлильных (с применением многошпиндельных головок) станков, станков с ЧПУ.

Групповая обработка заготовок способствует:

- снижению трудоемкости и себестоимости изготовления деталей - улучшению использования оборудования и оснастки;
- применению более прогрессивных методов обработки деталей;
- ускорению технологической подготовки производства.

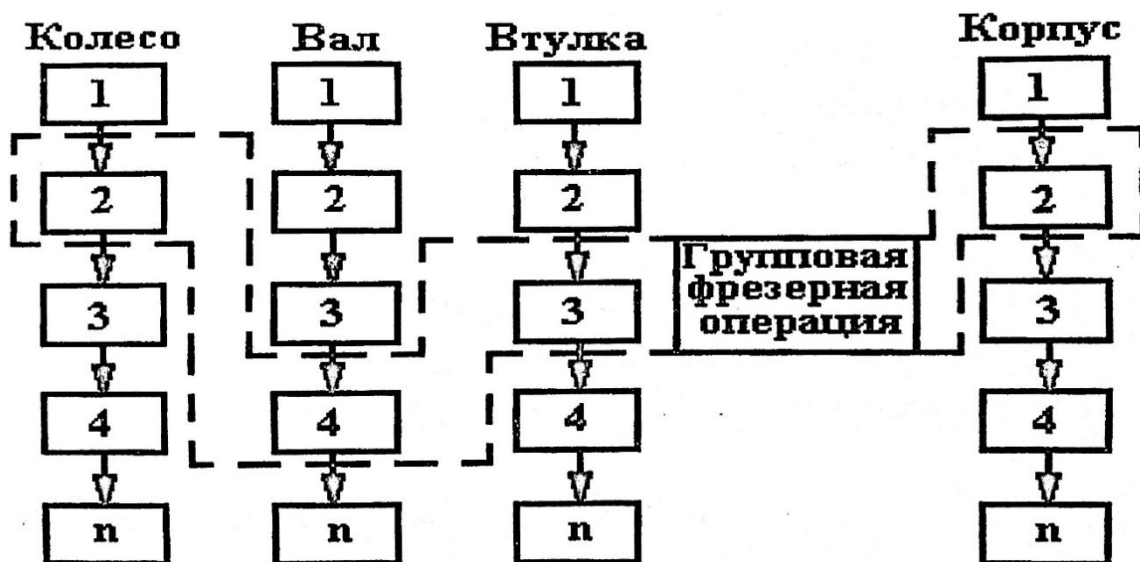


Рис. 5.1 Схема построения групповой фрезерной операции для деталей из разных классов; 1, 2, 3, 4,... n - операции технологических процессов изготовления данных деталей.

Трудностью внедрения методов групповой обработки является сложность организации оперативного планирования производства, расчета необходимых

межоперационных заделов, определение целесообразных размеров партии обрабатываемых заготовок и т. п.

В 80-х годах появилась концепция модульного технологического процесса, который по утверждению разработчиков может объединить в себе преимущества единичного, типового и группового технологических процессов. Разработка модульного- технологического процесса вызвана новыми рыночными отношениями заказчик-производитель из-за требований ускорения смены конкурентоспособной выпускаемой продукции. Ускоренная смена выпускаемой продукции изменяет характер массового производства, расширяет номенклатуру изделий, тем самым, заменяя массовое производство на серийное многономенклатурное производство. С другой стороны и в единичном и мелко-серийном производстве в результате применения стандартизации, унификации и типизации возрастает серийность выпуска изделий, что также приближает эти виды производства к серийному многономенклатурному производству. Таким образом, серийное многономенклатурное производство объединяет в себе черты единичного производства, характеризуемого широкой номенклатурой изготавливаемых деталей, так и массового производства, при котором осуществляется выпуск однотипных деталей в больших количествах.

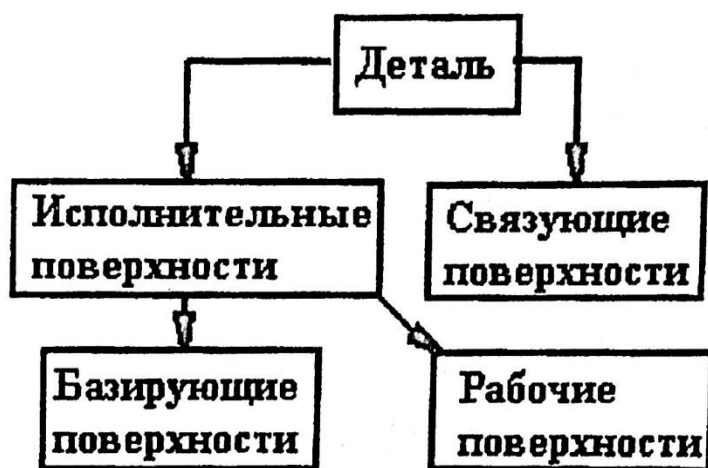
Единичное и массовое производство предъявляют соответствующие требования к технологии, оборудованию, оснастке, методам организации производства, которые часто противоположны. Например, для изготовления широкой номенклатуры деталей нужны универсальные станки, а для обеспечения высокой производительности необходимы специальные станки. Возникает потребность совмещения этих двух требований в одном производстве.

Чтобы производство было высокоэффективным, оно должно сочетать в себе высокую производительность массового производства с высокой гибкостью единичного производства. Одновременно оно же должно быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям.

Этим условиям достаточно полно удовлетворяет применение модульного технологического процесса изготовления деталей. Сущность модульной техно-

логии заключается в том, что процесс изготовления детали состоит из отдельных типовых технологических процессов обработки так называемых модульных поверхностей (МП). Модуль поверхностей представляет собой сочетание поверхностей, объединенных выполнением той или иной служебной функции детали. Для осуществления этих функций детали требуются исполнительные поверхности, которые в зависимости от рода выполняемой функции можно разделить на базирующие и рабочие. Исполнительные поверхности связываются в единое тело (деталь) с помощью связующих поверхностей. Отсюда все МП разделены на три класса по служебному признаку - базирующие (МПБ), рабочие (МНР) и связующие (МПС) (рис. 5.2). При применении модульной технологии изготовления детали за одну операцию может обрабатываться несколько МП одного или нескольких наименований.

Для такой обработки вводится понятие технологический блок ТБ - совокупность технологических и



вспомогательных переходов по изготовлению одного МП. Типовой технологический блок должен включать метод обработки, последовательность технологических переходов и инструментальную наладку.

Рис. 5.2 Модельные поверхности детали.

Имея технологические блоки, разработка модульного технологического процесса сводится к определению и назначению последовательности обработки МП деталей.

Широкое внедрение модульной технологии в производство позволит:

- сократить объемы и сроки технологической подготовки производства;
- повысить производительность обработки заготовок на станках: увеличить выпуск деталей с тех же площадей, при той же численности производственных рабочих и числе оборудования;



- внедрить в единичное и мелкосерийное производство поточную форму организации изготовления деталей.

### **5.3. Понятие о технологическом процессе механической обработки заготовок**

Технологический процесс механической обработки изделия (ТП) - часть производственного процесса, содержащая действия по изменению размеров, формы и свойств материала заготовки с целью получения готовой детали в соответствии с заданными чертежом техническими требованиями. Технологический процесс изготовления детали разбивается на операции, установовы, позиции, переходы, рабочие и вспомогательные ходы, выполняемые на рабочих местах.

**Рабочее место** определяется как часть производственной площади цеха, на которой размещены необходимые производственное оборудование или часть конвейера, технологическая оснастка, режущий и мерительный инструменты, устройства для хранения заготовок и готовых деталей, изготовленных на данном рабочем месте. Рабочее место является зоной действия одного или нескольких исполнителей работы (производственных рабочих).

**Технологической операцией** (ТО) называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте и охватывающая все последовательные действия рабочего (или группы рабочих) и оборудования по обработке заготовки. В условиях работы автоматической линии операция — это законченная часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на линии. Необходимость деления технологического процесса на операции порождается двумя причинами - физическими и экономическими. К физическим причинам относятся, например, невозможность обработки заготовки со всех сторон на одном рабочем месте или необходимость разделения предварительной и окончательной механической обработки заготовки, поскольку между ними должна быть проведена термическая обработка, и т.п. Экономическими причинами деления технологического процесса на операции могут быть, например, нецелесообразность создания специального и дорогостоящего станка,

позволяющего совмещать на одном рабочем месте проведение многих способов механической обработки заготовки. Узкая специализация рабочих в выполнении операций обеспечивает высокую производительность труда и позволяет использовать труд рабочих низкой квалификации.

Технологическая операция (сокращенно "операция") имеет название: токарная операция, фрезерная, шлифовальная операции и т.д. Чаще всего название операции происходит от типа оборудования (станка), используемого на рабочем месте при выполнении конкретной операции.

Операция является основной частью технологического процесса. По ее продолжительности определяют и рассчитывают ряд важнейших показателей производства, такие как трудоемкость технологического процесса, количество производственных рабочих, необходимое оборудование, инструмент и др.

Для выполнения технологической операции механической обработки заготовки на металлорежущем станке заготовку закрепляют в приспособлении, установленных на станке. Закрепленная заготовка при выполнении операции может менять пространственное положение относительно режущего инструмента или неподвижной какой-то части станка. *Фиксированное положение*, занимаемое закрепленной заготовкой относительно режущего инструмента или неподвижной части оборудования (станка), для выполнения конкретной операции называется позицией. При работе на многошпиндельных станках при одном закреплении заготовки число позиций заготовки равно количеству шпинделей станка. Другой пример. Заготовка закрепляется в делительном устройстве для фрезерования 4-х граней, занимая сразу 1-ю позицию относительно фрезы. После фрезерования 1-й грани заготовка с помощью делительного устройства поворачивается на  $90^\circ$  для фрезерования 2-й грани, занимает поочередно 4 позиции относительно фрезы при выполнении данной операции при *одном* ее закреплении.

Каждое закрепление и открепление заготовки, ее переустановка в приспособлении увеличивает операционное время и является источником снижения

точности обработки. Поэтому замена переустановок заготовки на одну позиционную установку оказывает технически и экономически целесообразной.

**Рабочий ход** - (старое название "проход") однократное перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемое изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки. Одна и та же поверхность заготовки может обрабатываться за несколько рабочих ходов.

Если рабочий ход (ходы) совершался относительно одной обрабатываемой поверхности, а затем относительно второй, третьей и т.д. поверхностей заготовки или рабочий ход (ходы) совершался относительно одной и той же поверхности заготовки но разным инструментом, или относительно одной и той же поверхности одним и тем же инструментом, но с разными режимами резания, то такие изменения носят название *технологические переходы*. Таким образом, *технологический* переход - часть технологической операции, которая характеризует постоянство или:

- обрабатываемой поверхности, или
- применяемого инструмента, или
- значений режимов резания.

Если у заготовки обрабатывается 3 поверхности одним и тем же инструментом и при одних и тех же режимах резания, то обработка ее будет осуществляться за три технологических перехода. Если у заготовки обрабатывается одна и та же поверхность при одних и тех же режимах резания, но разными инструментами, то обработка заготовки осуществляется за два технологических перехода. И если у заготовки обрабатывается одна и та же поверхность, одним и тем же инструментом, но при разных режимах резания, например, при 2-х разных подачах, то обработка заготовки осуществляется за два технологических перехода.

Законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимыми для выполнения технологического перехо-

да называется *вспомогательный ход*. Примерами вспомогательных ходов являются закрепление заготовки, смена инструмента и т. д.

*Вспомогательный ход* - часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, но необходимая для выполнения рабочего хода.

Если все технологические переходы, рабочие и вспомогательные ходы выполняются при однократном закреплении заготовки в приспособлении станка, то данная часть операции носит название *установ*. Таким образом, *установ* - часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки.

В машиностроении существует два принципа построения операций: дифференциация и концентрация операций. Дифференциацией операции называется принцип построения операции одним видом инструмента последовательно на одном рабочем месте. Концентрацией операции называется принцип выполнения группы элементарных операций одновременно многими инструментами на одно или многопозиционном станке.

В настоящее время принцип концентрации операций является доминирующим, так как, несмотря на высокую производительность поточной линии, основанной на принципе дифференцированной обработки заготовки, станкоемкость и себестоимость получения детали на поточных линиях остаются высокими.

За последние годы в крупносерийном и массовом производстве все чаще используются поточные линии с применением концентрации операций.

#### **5.4. Типы производства.**

Тип производства — это классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий. Объем выпуска изделий - количество изделий (машин, деталей, заготовок) определенного наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых в течение планируемого периода времени (год, квартал, месяц). Понятие "объем выпуска" используют при проектировании за-

вода, цеха или технологического процесса. Различие объемов выпуска изделий привело к условному разделению производства на различные типы. В машиностроении реализуются следующие типы производства (ГОСТ 14.004):

- единичное;
- серийное;
- массовое.

Одной из основных характеристик типа производства является *коэффициент закрепления операций*, представляющий собой отношение числа всех различных технологических операций, подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест:

$$K_{30} = O / P \quad (5.1)$$

где O – число операций за месяц;

P – число рабочих мест, на которых выполняются операции.

Для *массового* производства данный коэффициент принят за:

1. Серийное производство в зависимости от значения коэффициента закрепления операций подразделяют на крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное. Коэффициент закрепления операций принимают равным:

- а) для крупносерийного производства – свыше 1 до 10 включительно;
- б) для среднесерийного производства – свыше 10 до 20 включительно;
- в) для мелкосерийного производства – свыше 20 до 40 включительно;
- г) для единичного производства  $K_{30} > 40$ .

### 5. 5. Характеристика типа производства

**Массовое производство** характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом изготавливаемых изделий по неизменяемым чертежам в течение продолжительного времени. При выпуске нескольких изделий одновременно они изготавливаются параллельно. Выпуск продукции происходит непрерывно. Особенностью массового производства изделий является расчленение технологического процесса на отдельные операции, и каждая операция выполняется постоянно на одном и том же рабочем месте. Обработка изделия производится на специальном высокопроизводительном оборудовании с посто-

янной настройкой на заданные геометрические параметры обработки детали и заданные режимы резания.

В качестве оснастки применяются неразборные специальные приспособления (НСП), которые позволяют производить базирование заготовки без выверки и осуществлять активный контроль в процессе обработки.

Квалификация рабочих на операционных работах может быть невысокой, но настройку станков производят высококвалифицированные рабочие-наладчики.

При строгой технологической дисциплине достигаются высокое качество выпускаемых изделий и низкая их себестоимость.

Для массового типа производства характерна поточная форма производственного процесса. Основными свойствами поточной формы производства являются его непрерывность и равномерность. Обрабатываемые изделия перемещаются с одного рабочего места на другое в соответствии с технологическим процессом, образуя поточную линию, непрерывным потоком. Штучное время обработки изделия на всех операциях согласовано с тактом выпуска поточной линии. Такт выпуска поточной линии ( $\tau$ ) – интервал времени (мин), через который с линии должно выпускаться очередное изделие (заготовка, деталь, сборочная единица):

$$\tau = 60F_d / N \quad (5.2)$$

где  $F_d$  - действительный фонд времени работы оборудования за планируемый период времени, ч;

$N$  - количество изделий, выпускаемых с поточной линии за планируемый период времени.

Такт выпуска - основная расчетная величина для операций, выполняемых на поточной линии. Чтобы исключить возможные перебои на поточной линии, предусматриваются межоперационные заделы с запасами, позволяющими устранить неритмичность работы поточной линии. Синхронность выполнения операций на поточной линии достигается за счет правильного подбора режимов резания, применение комбинированного инструмента, применение станков-дублеров, механизации и автоматизации технологического процесса.

Для повышения эффективности производства поточные линии часто проектируются комплексными, т.е. на них кроме механической обработки изделия выполняются процессы термической обработки, нанесения покрытий, сборки, упаковки и т.д. Более высокой формой поточного метода являются автоматические линии, в том числе роторные и роторно-конвейерные.

Высшей формой развития автоматизированного производства являются гибкие производственные системы (ГПС). Широкая универсальность станков в ГПС позволяет во многих случаях производить полную обработку детали при минимальном их числе. В настоящее время обработка достаточно сложной детали может производиться на одном станке с применением большого количества различного режущего инструмента.

**Серийное производство** характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, в основном деталей или заготовок, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями. *Партией* принято называть определенное число деталей или заготовок одного наименования и типоразмера по неизменяемым чертежам, одновременно или непрерывно поступающих на одно рабочее место в течение определенного времени (час, смена, неделя, месяц). Партии могут быть разных изделий.

Станки объединяются по участкам и располагаются на участке в последовательности технологических операций для одной или нескольких деталей (заготовок), требующих одинаковый вид обработки: участок изготовления валов, участок изготовления зубчатых колес и т.п. При этом время выполнения операций на отдельных станках может быть не согласовано со временем операций на других станках. Изготовленные детали или заготовки хранятся во время работы у станков и затем транспортируются всей партией.

При серийном типе производства применяется различное оборудование: универсальное, специализированное, специальное, с ЧПУ, а приспособления - специализированные и переналаживаемые. Квалификация рабочих высокая и средняя. Обработка деталей или получение заготовок нескольких наименований со сходными технологическими процессами позволяет организовать

групповую поточную (*переменно-поточную*) форму организации их изготовления. Это означает, что обработка каждой партии деталей (получение заготовок) организуется по принципу непрерывного потока. Но изготовление каждой партии изделий производится после соответствующей переналадки оборудования и приспособлений с использованием своих режимов резания. И только для крупносерийного производства применяется *поточная* организация производственного процесса, но штучное время выполнения отдельных операций не согласовано с тактом выпуска поточной линии. Поэтому у отдельных рабочих мест могут создаваться заделы промежуточных заготовок и заготовки лежат в ожидании последующей операции.

***Единичное производство*** характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых изделий (машин, деталей, заготовок) и малым объемом их выпуска. При этом считается, что выпуск таких же машин, деталей или заготовок не может повториться по неизменяемым чертежам.

В этом типе производства, как правило, используется *универсальные* оборудование, приспособления и инструмент. В цехе станки располагаются по участкам, на которых станки объединяются по признаку однородности вида обработки: участок токарной обработки, фрезерной, шлифовальной и др. Обрабатываемое изделие в процессе обработки перемещается от одной группы станков к другой. Сборка изделия производится в основном с использованием слесарно-пригоночных работ, т.е. по месту. Специализация рабочих мест при единичном типе производства отсутствует. Рабочие, занятые на данном производстве, имеют высокую квалификацию, производственный цикл изготовления изделия при этом типе производства, как правило, длительный, производительность труда невысокая, а себестоимость продукции высокая.



## ГЛАВА 6

### БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ

#### 6.1. Понятие о базах

При изготовлении деталей на металлорежущих станках определение положения (*базирования*) заготовок в процессе их обработки *относительно режущего инструмента*, является одной из главных задач процесса получения детали, так как от правильного решения этой задачи во многом зависит качество детали.

Вопросам базирования уделялось и уделяется большое внимание в технологических процессах изготовления деталей на металлорежущих станках. Одним из основоположников разработки теории базирования был Б.С. Балакшин, разработавший в 40-х годах теорию базирования, положенную в основу ГОСТ 21495 "Базирование и базы в машиностроении".

При обработке заготовки на металлорежущем станке различают следующие поверхности:

- а) обрабатываемые поверхности, которые подвергаются воздействию режущего инструмента;
- б) поверхности, посредством которых определяют положение заготовки относительно режущего инструмента и элементов приспособления в процессе обработки;
- в) поверхности, контактируемые с зажимными устройствами приспособления;
- г) поверхности, от которых производится измерение получаемых размеров обрабатываемой поверхности;
- д) свободные поверхности.

При изготовлении детали заготовку устанавливают либо в стандартное приспособление типа тиски, кулачковый патрон, центра, цанга, планшайба, или в специальное приспособление. Применяют три основных способа установки заготовки в приспособление для ее обработки:

- 1) с индивидуальной выверкой ее положения по соответствующим поверхностям;
- 2) с выверкой ее положения по рискам разметки;
- 3) с непосредственной установкой ее в приспособлении.

Первые два способа трудоемки и применяются в единичном и мелкосерийном производстве. В серийном и массовом производстве используется третий способ установки заготовки на станке, так как он обеспечивает наиболее точное положение заготовки в рабочей зоне станка и требует минимальной затраты времени.

Положение заготовки в приспособлении определяют ее базисные элементы (базы), которые могут быть различными по форме и виду. Согласно ГОСТ 21495 базами называются *поверхность* (рис. 6.1, а) или выполняющие ту же функцию *сочетание поверхностей* (рис. 6.1,б), или ось (рис. 6.1, в), или точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования. Чаще всего базами служат поверхности и оси. Базы классифицированы.

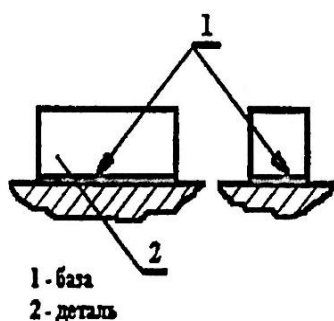


Рис. 6.1, а

База - поверхность  
детали.

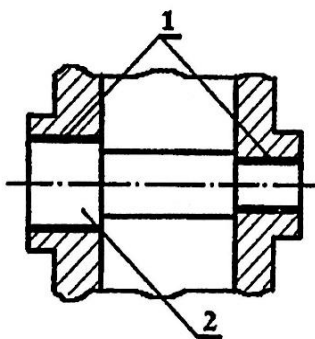


Рис. 6.1,б

База-сочетание  
поверхностей детали.

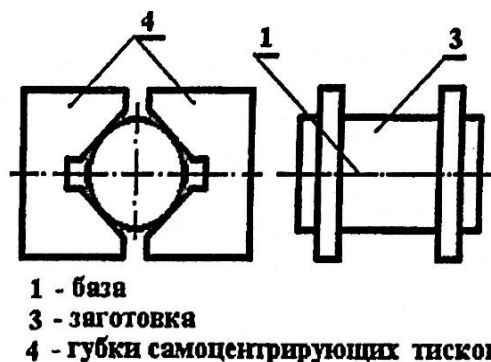


Рис. 6.1,в

База - ось детали

В настоящее время классификация баз ограничивается тремя признаками: по назначению, по *лишаемым степеням свободы* и по *характеру проявления*.

## 6.2. Классификация баз по назначению

По назначению базы различают на конструкторские, технологические и измерительные базы.

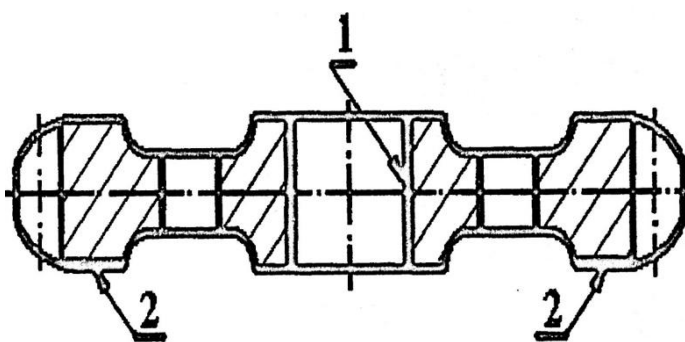
*Конструкторскими базами* называют базы, используемые для определения

положения детали или сборочной единицы в изделии. Недопустимо говорить - сборочные базы. При сборке изделия его элементы сопрягаются по конструкторским базам. Таким образом, конструкторские базы являются реальными поверхностями элементов изделия.

*Технологическими базами* называются базы, используемые для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. При установке заготовки в приспособление за технологические базы принимают реальные поверхности, непосредственно контактирующие с установочными элементами приспособления.

В процессе изготовления детали технологические базы могут подразделяться на *черновые и чистовые*. Черновыми базами называют необработанные поверхности заготовки, используемые для ее установки в приспособление при первой операции, когда еще нет обработанных поверхностей. Чистовыми базами называют обработанные поверхности заготовки, служащие для ее установки в приспособление для последующих операций.

Кроме понятий черновых и чистовых технологических баз введены понятия *действительные и искусственные* технологические базы. Нельзя использовать понятия основные и вспомогательные технологические базы, так как эти понятия



применяются в конструкторских базах. Действительные технологические базы - это поверхности заготовки, которые являются элементом конструкции детали и выполняют определенную роль при ее работе в изделии.

Рис. 6.2,а Действительные базы детали.

Например, поверхность отверстия I и торец венца заготовки 2, используемые для базирования заготовки при нарезании зубьев

Искусственные базы — это поверхности, специально создаваемые на заго-

товке для выполнения определенных технологических операций, и для работы детали они не нужны.

Например, центровые отверстия в торце валов, установочные отверстия при обработке корпусных деталей или торец юбки 1 и центрирующий пояс 2 поршня двигателя (рис. 6.2,6).

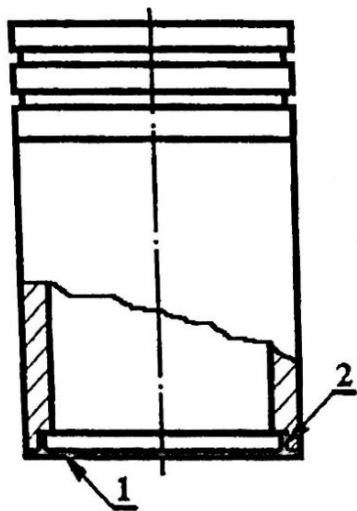


Рис. 6.2.6 Схема искусственных баз.

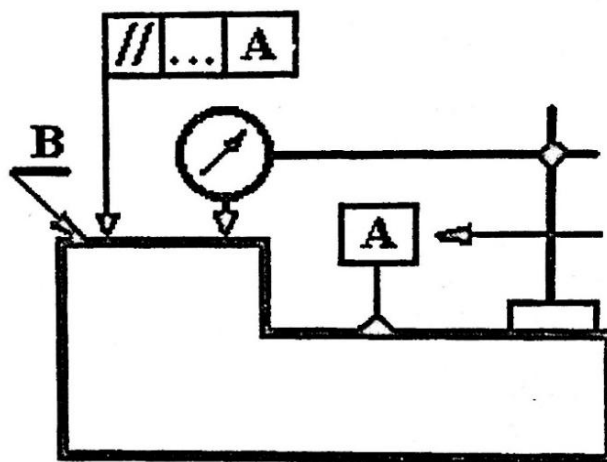


Рис.6.3 Схема измерительных баз.

*Измерительные базы* - это базы, используемые для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения. Другими словами, измерительная база используется для отсчета размеров при обработке заготовки или для проверки взаимного положения поверхностей (осей) готовой детали с помощью измерительных средств. Например, при определении параллельности плоскости В (рис.6.3) относительно плоскости А измерительной базой будет плоскость А. Данные базы применяются как при изготовлении деталей, так и при сборочных операциях. Если в качестве измерительной базы используют не реальные поверхности детали, а геометрические линии или точки, то применяют косвенные методы контроля. Указанные базы материализуются с помощью вспомогательных деталей (оправок, отвесов, струны и пр.).

Таким образом, возвращаясь к разновидностям поверхностей обрабатываемой заготовки, можно говорить, что поверхности пункта "б" характеризуют технологические базы, а поверхности пункта "г" - измерительные базы.

### 6.3. Классификация баз по лишаемым степеням свободы

Из механики известно, что при перемещении твердое тело имеет *шесть* степеней свободы. Если рассматривать перемещение твердого тела в прямоугольной системе координат, то *три* связаны с перемещением тела вдоль осей координат **X**, **Y** и **Z** (рис 6.4,) и *три* - с возможным поворотом тела вокруг этих осей (рис. 6.4,).

При установке и закреплении заготовки в приспособление она лишается подвижности, т.е. всех шести степеней свободы. Более подробно об этом будет рассмотрено в разделе базирования. Для придания заготовке неподвижности используется, так называемый, комплект баз, каждая из которых лишает заготовку конкретных степеней свободы. Базы, лишаящие заготовку подвижности при ее установке и закреплении в приспособлении, подразделяются (классифицируются) на:

1) *установочную базу* (рис. 6.5,), которая лишает заготовку *трех* степеней свободы - перемещения вдоль одной из координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

На рисунке 1 - приспособление, 2 - заготовка, 3 - вертикальное усилие прижатия заготовки, 4 - установочная база заготовки.

При закреплении заготовки в таком приспособлении заготовка лишается перемещения вдоль оси **Z** и поворота вокруг осей **X** и **Y**, но может в процессе обработки под воздействием сил резания перемещаться в направлении осей **X** и (или) **Y**, и (или) вращаться вокруг оси **Z**.

2) *направляющую базу* (рис 6.5,), которая лишает заготовку *двух* степеней свободы - перемещение вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси. На рисунке 5 ~ направляющая база заготовки, 6 - горизонтальное усилие прижатия заготовки.

При установке и закреплении заготовки в таком угловом приспособлении она лишается перемещения вдоль оси **X** и поворота вокруг оси **Z**, но в процессе обработки под действием режущих сил может перемещаться по направлению оси **Y**.

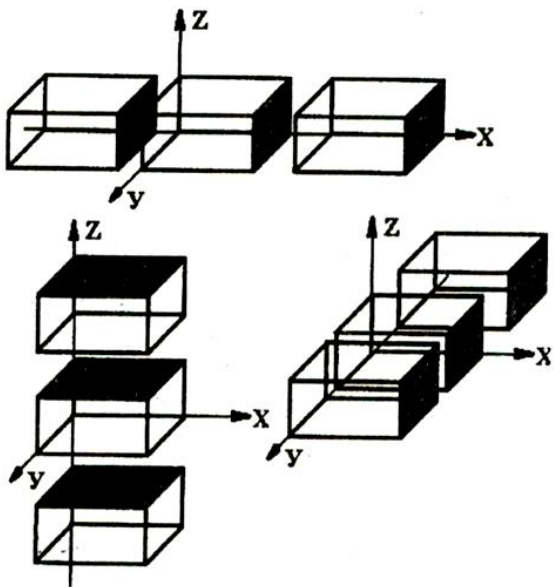


Рис. 6.4, а

Перемещение заготовки  
вдоль координатных осей.

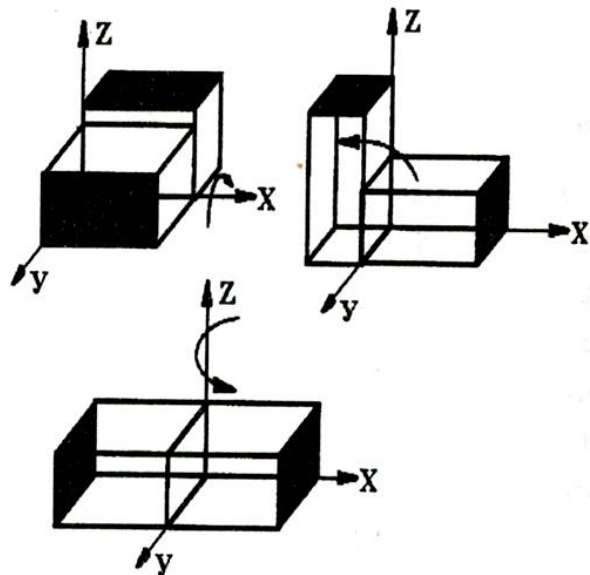


Рис.6.4, б

Поворот заготовки  
вокруг координатных осей.

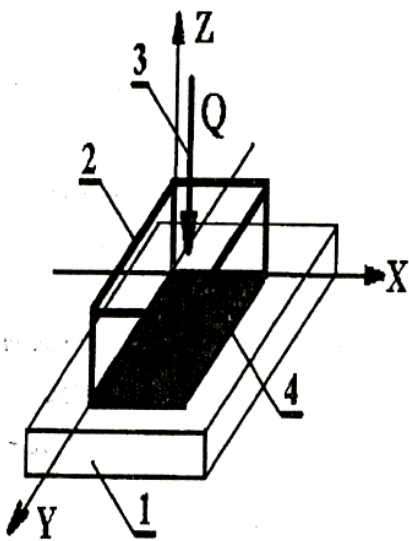


Рис. 6.5,а Установочная  
база.

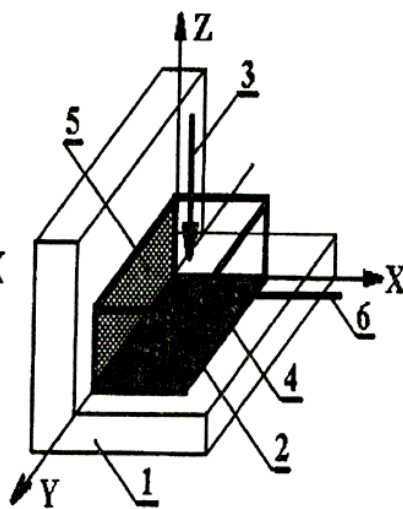


Рис. 6.5,б Направляющая  
база.

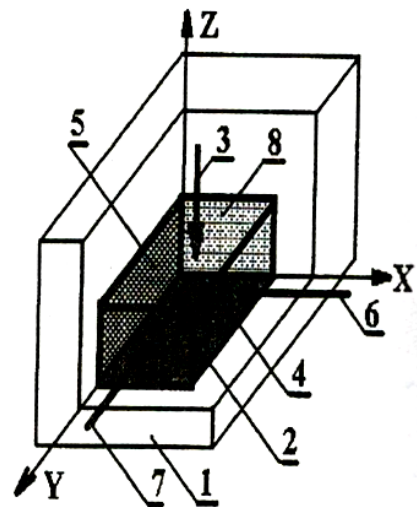


Рис. 6.5, в Опорная база

3) *опорную базу* (рис. 6.5, в), которая лишает заготовку одной степени свободы - перемещение вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. На рисунке 7 - боковое усилие прижатия заготовки, 8 - опорная база заготовки.

При установке и закреплении заготовки в таком "боковом" приспособлении оно обеспечивает полную неподвижность заготовки в процессе ее обработки. Естественно, что конструкции приспособлений могут быть различны, но для

осуществления неподвижности заготовки необходимо, чтобы три базы заготовки контактировали с установочными элементами приспособления.

Комплект баз, состоящий из *установочной, направляющей и опорной* баз является наиболее распространенных. Однако для некоторых типов заготовок существует другая разновидность комплекта баз. Данный комплект состоит из *двойной направляющей* базы, лишаящей заготовку четырех степеней свободы и *двух опорных* баз. Двойная направляющая база лишает перемещение заготовки вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг осей, параллельных им. Чаще всего этот комплект баз применяют при обработке заготовок с цилиндрической поверхностью большой протяженностью (отношение длины к диаметру больше единицы).

Третьим типовым комплектом баз является комплект баз, состоящий из *установочной, двойной опорной и опорной* баз. Двойной опорной называют базу, используемую для наложения на заготовку связей, лишаящих ее двух степеней свободы - перемещение вдоль двух координатных осей. В отличие от направляющей базы, с помощью которой лишают заготовку одного перемещения и одного поворота, двойную опорную базу используют для лишения заготовки по двум перемещениям.

Комплект баз может быть образован сочетанием поверхностей разных размеров и конструктивных форм (плоских, цилиндрических, конических и др.).

#### **6.4. Классификация баз по характеру проявления**

Третий признак классификации баз введен для определения *точности установки* заготовки в приспособление с целью получения заданной геометрической точности и точности взаимного Расположения поверхностей, осей или оси и плоскости (пространственная точность) детали или *точности установки* детали в сборочную единицу.

На рис. 6.6 показана установка заготовки на магнитный стол плоскошлифовального станка для одновременного шлифования поверхностей 2 и 3 относительно поверхности 1. Поверхность 3 должна быть параллельна поверх-

ности 1. Торцевая поверхность абразивного круга конструктивно параллельна кромке А магнитного стола.

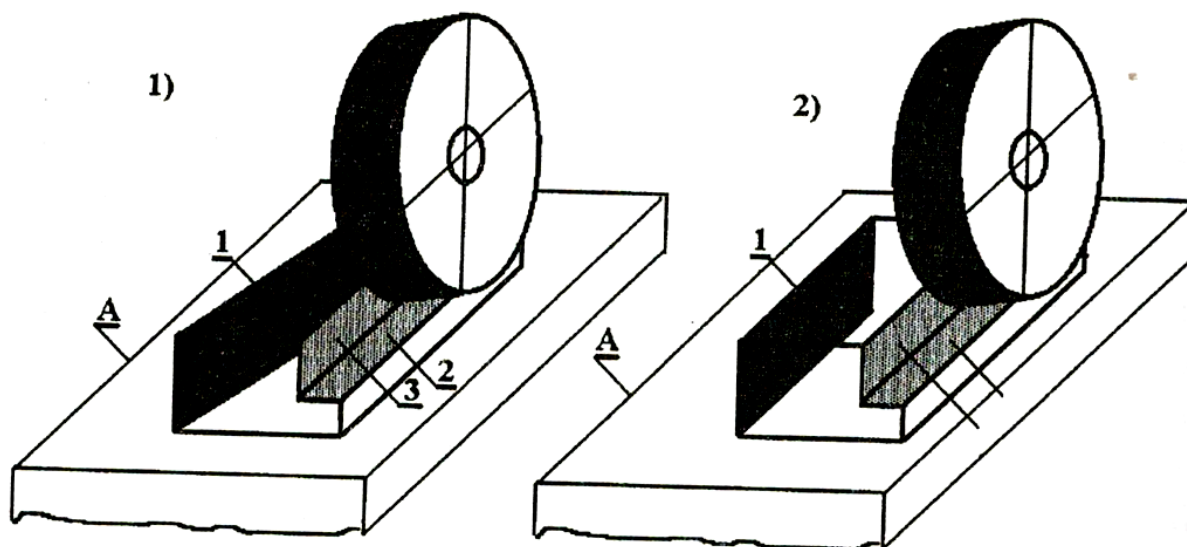


Рис. 6.6 Установка заготовки на магнитный стол

Если заготовка устанавливается на магнитный стол достаточно произвольно (вариант 1), то условие параллельности поверхностей 1 и 3 может быть не выполнено и одновременно не будет достигнута равная ширина поверхности 2. Если же с помощью приборов поверхность 1 заготовки будет строго выверена по параллельности кромки А магнитного стола (вариант 2), то условие параллельности поверхностей заготовки 3 и 1 и равная ширина поверхности 2 будут выполнены. Таким образом, поверхность 1 служит базой, относительно которой производится установка заготовки на магнитном столе станка.

По третьему признаку базы классифицируются на *явные* и *скрытые*. Явной называют базу в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок. У выше приведенного примера поверхность 1 является явной базой. Скрытые базы используют в тех случаях, когда *точность установки* заготовки в приспособление осуществляется с использованием плоскостей симметрии или оси, или пересечение осей заготовки. Базирование по скрытым базам с определённой точностью может быть выполнено лишь с помощью специальных приспособлений (центров, самоцентрирующего патрона, измерительных приборов для установки заготовки по линейным и угловым параметрам и др.).



Например, точение шеек вала за две установки в 3-х кулачковом патроне (рис. 6.7,а и б) приводит за счет радиального биения патрона к несоосности этих шеек (рис. 6.7,в). Если по техническим условиям несоосность этих шеек должна быть сведена к минимуму, то используют ось, проходящую через центровые отверстия, предварительно изготовленные в торцах вала и вал для обработки, устанавливается в центрах.

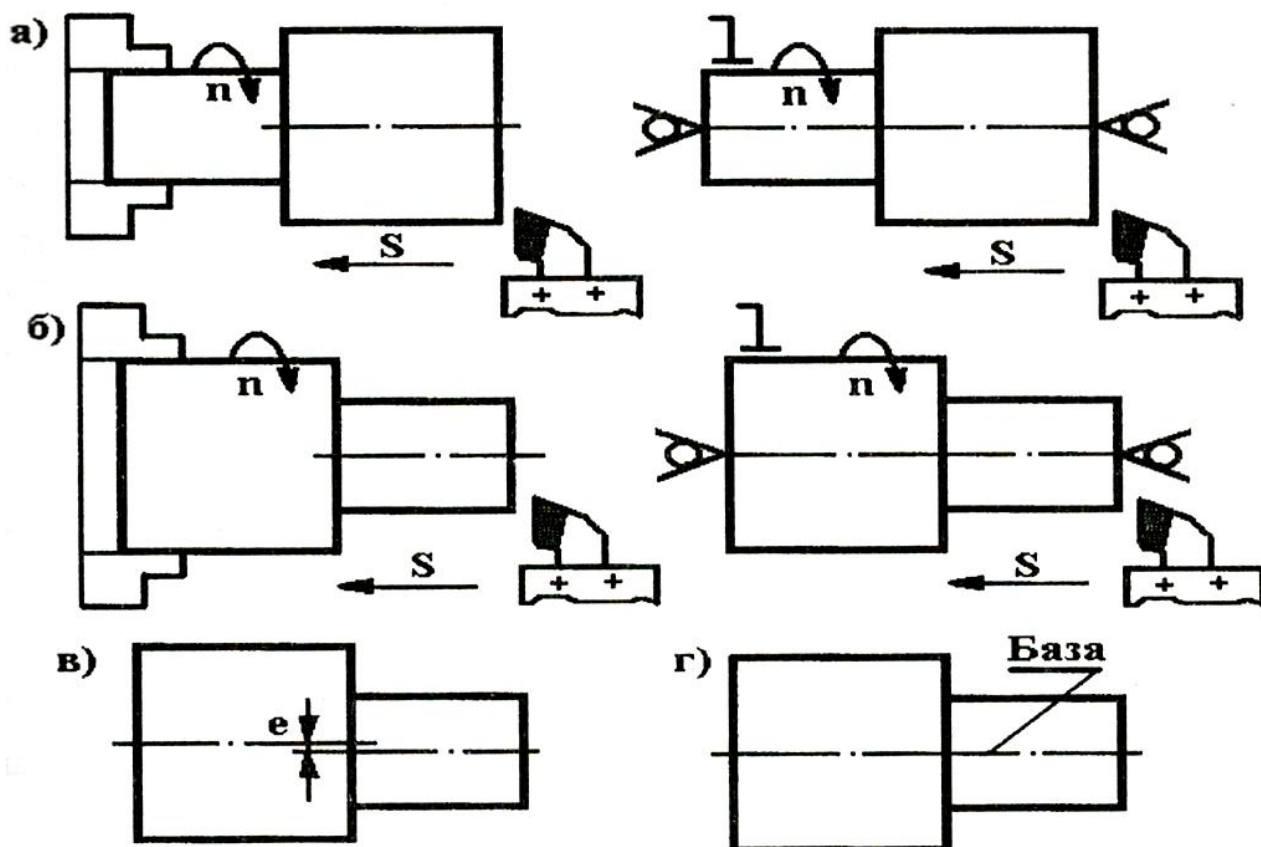


Рис. 6.7 Базирование вала в 3-х кулачковом патроне.

При таком способе установки вала обработка его шеек с двух установок не приведет к несоосности обработанных шеек, так как за базу принимается одна и та же ось при каждой установке. Эта ось является скрытой базой (рис.6.7,г).

### 6.5. Понятие о базировании

Базированием называют *придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ 21495).*

Это общее определение, которое относится как при обработке заготовок на металлорежущих станках, так и при сборочных операциях. Далее будут рассмотрены только вопросы базирования заготовки при обработке ее на

металлорежущем станке. В качестве избранной системы координат-прямоугольная система координат OXYZ.

Придание заготовке требуемого положения в приспособлении станка осуществляется в реальной ситуации путем соприкосновения ее поверхностей с установочными элементами приспособления. Фиксация полученного положения заготовки в приспособлении и постоянство контакта с его установочными элементами обеспечивается приложенными внешними силами зажимных устройств приспособления. Необходимо отметить, что *количество применяемых внешних сил и их величина часто зависит от массы самой заготовки и (или) сил трения между поверхностями заготовки и установочными элементами приспособления, возникающие при зажиме заготовки зажимными устройствами приспособления.*

Известно, что поверхности заготовки, контактирующие с установочными устройствами приспособления, реально соприкасаются с этими элементами лишь на отдельных элементарных площадках, условно считаемых *точками контакта*. Установлено, что фактическая площадь контакта деталей по плоским поверхностям находится на уровне 1% от их геометрической площади. Поэтому в общем случае, рассматривая базирование (т.е. придание заготовки требуемого положения) комплектом баз, можно говорить о *шести точках контакта* заготовки с установочными элементами приспособления, каждая из которых лишает заготовку одну из степеней свободы, а все шесть точек контакта обеспечивают неподвижность заготовки внешними силами при ее закреплении зажимными устройствами приспособления. Другими словами, на каждую точку контакта накладывается *связь*, лишаящую заготовку одной из степеней свободы. Правило базирования заготовок с лишением их всех шести степеней свободы называют *правилом шести точек*.

Для того чтобы заготовка заняла и сохранила требуемое положение в процессе ее обработки относительно установочных элементов станка или приспособления, необходимо обеспечить *определенность* ее базирования. Определенность базирования характеризуется таким расположением точек

контакта заготовки с установочными элементами станка или приспособления и такими силами закрепления, которые позволяют сохранение этого контакта в процессе обработки заготовки. В противном случае возникает неопределенность базирования заготовки.

Неопределенность базирования заготовки может быть вызвана:

- случайностью подбора точек контакта;
- деформированием заготовки при закреплении и в процессе обработки от сил резания;
- недостаточностью сил закрепления и др.

Случайность подбора точек контакта может быть существенно уменьшена, если в приспособлении предусматриваются специальные опоры, на которые и

устанавливают заготовку

(рис. 6.8). Рассматривая

практически вопросы бази-

рования той или иной

заготовки, в зависимости от

массы заготовки и ее жест-

кости, могут быть

применены различные схе-

мы базирования, которые,

в общем случае, подразделяются на 3 вида:

1) для заготовок средней массы и жесткости применяют один из 3-х типовых комплектов баз, упомянутых выше;

2) для жестких заготовок с большой массой используются не полностью все базы комплекта;

3) для мало жестких заготовок (длинных валов с малым диаметром, тонких плит и др.) применяются дополнительные нерегулируемые или регулируемые точки опоры.

На рис. 6.9 приведены примеры обработки заготовки с неполным использованием комплекта баз. Так при фрезеровании поверхности у заготовки,

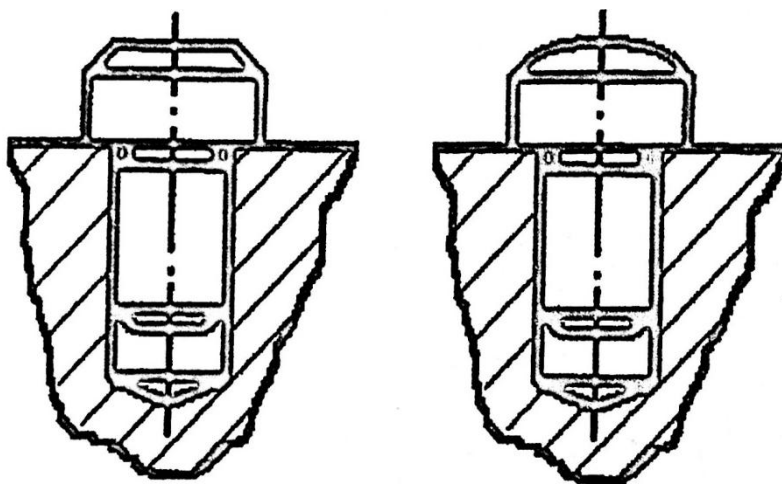


Рис. 6.8 Специальные опоры.

закрепленной в машинных тисках (рис 6.9, а), отсутствует опорная база (которая не позволяла бы смещаться заготовке вдоль оси X). Такая установка заготовки возможна лишь при достаточно малых усилиях резания. За счет сил

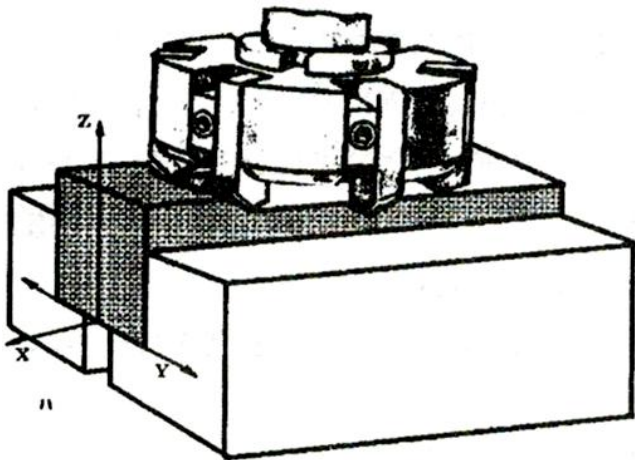


Рис. 6.9,а Отсутствие опорной базы.

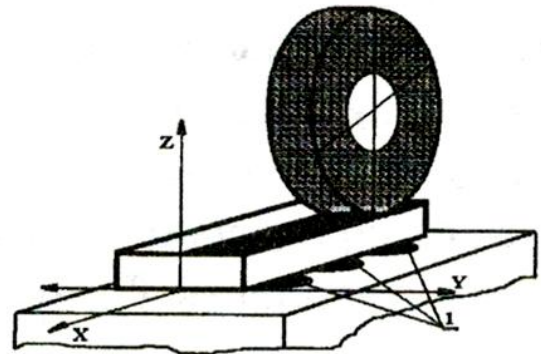


Рис. 6.9,б Использование только установочной базы.

трения боковых поверхностей заготовки с губками тисок, возникших при сжатии тисками заготовку, и незначительных усилий резания при фрезеровании эта опора не нужна. Если же усилия резания возрастут (за счет изменения режимов фрезерования), то влияние значения величины силы трения может оказаться недостаточными для создания неподвижности заготовки. В этом случае придется использовать опорную базу - торец заготовки, который будет связан с добавочным установочным элементом на столе станка. При плоском шлифовании (рис 6.9,б) заготовка закрепляется на столе станка, как правило, только за счет электромагнитов (1) - используется одна установочная база. Однако при малой площади контакта плоскости заготовки с электромагнитами она может смещаться вдоль оси X, оси Y и поворачиваться вокруг оси Z.

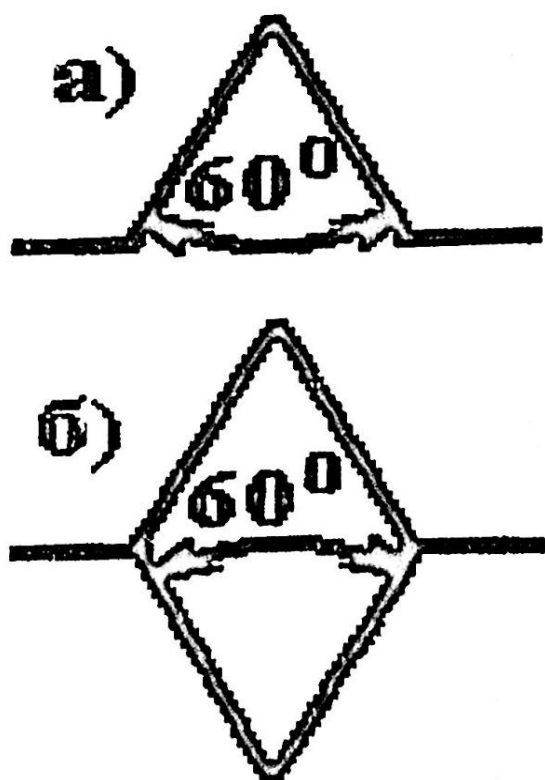
В этом случае добавляют дополнительные устройства, контактирующие с направляющей (боковая поверхность заготовки) базой и с опорной (торцевой поверхностью заготовки) базой.

При принятии решения по базированию заготовки в приспособлении для ее обработки на металлорежущем станке необходимо:

- выявить поверхности заготовки, участвующие в базировании;

- определить функции, выполняемые этими поверхностями в базировании (установочная ли эта поверхность или опорная и т.д.);
- сопоставить найденные базы с типовыми комплектами и выбрать один из них;
- показать теоретическую схему базирования на эскизе.

Теоретическая схема базирования, показываемая на эскизе, показывает расположение опорных точек на соответствующих базах. Условное обозначение



опорной точки показано на рис. 6.10: а) вид спереди и сбоку; б) вид сверху.

Все опорные точки на эскизах нумеруются порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагают наибольшее число опорных точек. При наложении на схеме базирования в эскизе одной опорной точки на другую, изображают одну точку и около нее проставляют номера совмещенных точек. Если опора скрытая, то ее обозначают пунктиром.

*Пример. Фрезеровать уступ,*

*выдержав размеры  $a$  и  $b$  и параллельность поверхностей уступа точки на относительно поверхностей  $A$  и  $B$  (рис. 6.11). Данная технологическая операция решается на фрезерном станке в системе координат станка  $OXYZ$ . Теоретическая схема базирования заготовки представлена с помощью установочной, направляющей и опорной баз. Все базы явные.*

На рис. 6.12 показана теоретическая схема базирования валика при обработке его в центрах и паводковом патроне. Базирование осуществляется с помощью двойной направляющей базы (1...4) и двух опорных баз - 5 и 6.

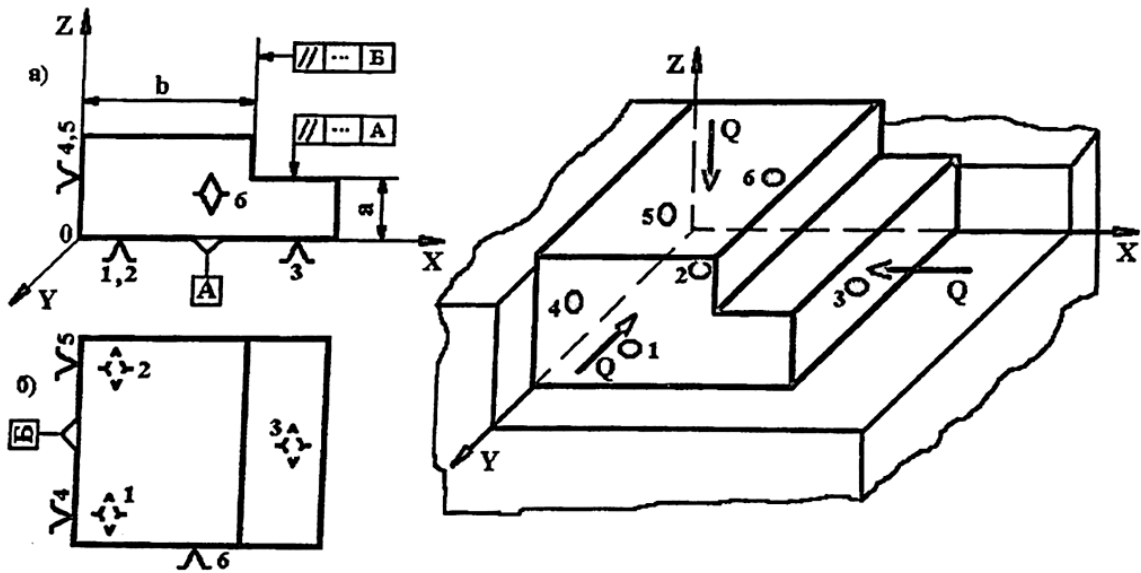


Рис. 6.11 Схема базирования заготовки при фрезеровании

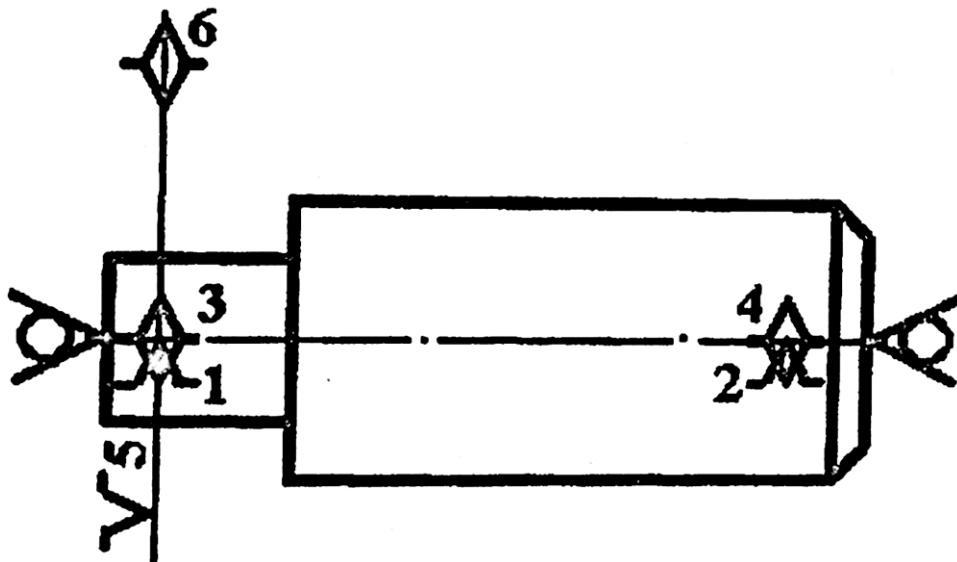


Рис. 6.12 Схема базирования валика в поводковом патроне и центрах

### 6. 6. Принцип постоянства базы

При выборе технологических баз следует придерживаться *принципа постоянства базы* на основных операциях механической обработки заготовки, т.е. по возможности использовать в качестве технологической базы одни и те же поверхности заготовки. Тогда погрешности обрабатываемых поверхностей, выполненных от одной технологической базы, зависят лишь от погрешностей обработки и настройки режущего инструмента и не зависят от погрешностей установки и схемы базирования.

Соблюдение принципа постоянства баз приводит к повышению точности обработки. Выигрыш в точности обработки нередко оказывается настолько весомым, что технологи вводят дополнительные операции, на которых получают специальные технологические постоянные базы для нескольких или даже для всех операций. Например, при обработке ступенчатых валов чаще всего используют центровые отверстия, хотя можно было бы базировать обработку одних шеек относительно других, выбранных в качестве технологических баз. Преимущества принципа постоянства технологических баз используются в многооперационных станках и станках типа "обрабатывающий центр", на которых получение сложных деталей производится с одной установки заготовки. Кроме того, многооперационные станки, на которых обрабатывают заготовки с разных сторон и разными способами, не только значительно снижают погрешности установок заготовки на точность получаемых размеров деталей, но и приводит к существенной экономии времени технологических процессов за счет сокращения числа установок особенно крупногабаритных и больших по массе. Однако применение постоянной базы не всегда возможно и выгодно. На

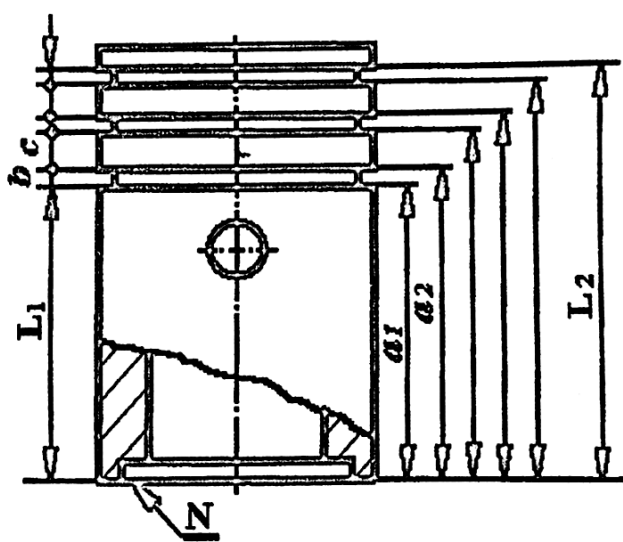


рис. 6.13 показана простановка размеров ширины канавок под поршневые кольца методом "цепочки" (система размеров  $L_1$ ) и координатным методом (система размеров  $L_2$ ) от постоянной базы  $N$ . По техническим условиям допуск размера на ширину канавки  $b$  задается строго определенной величины. Если при выполнении размеров,

Рис. 6.13 Способы простановки размеров. проставленных методом «цепочки» данный допуск, будет выдерживается, то размеров при выполнении размеров по координатной системе, допуск на ширину канавки равен сумме допусков на размеры  $a_1$  и  $a_2$  что значительно превысит заданный допуск размера  $b$ .

## 6. 7. Принцип совмещения баз

В общем виде принцип совмещения баз состоит в том, чтобы при изготовлении детали на металлорежущем станке в процессе обработки заготовки использовать в качестве технологических, измерительных и конструкторских баз одни и те же поверхности или элементы заготовки. Этот принцип является важным при разработке конструкции изделия и технологических процессов изготовления его деталей, так как не совмещение баз приводит к погрешностям базирования заготовок обрабатываемых деталей на станке и в целом к погрешностям при сборке изделия.

Наиболее полно этот принцип должен использовать конструктор, так как именно он выбирает схемы базирования и взаимосвязь деталей в изделии. Если конструктор решил задачу совмещения баз удовлетворительно, то технолог использует конструкторские базы в качестве технологических и измерительных баз. При этом погрешности базирования заготовок на станке (в приспособлении) будут равны нулю.

Однако не всегда возможно использовать конструкторскую базу в качестве технологических баз, например в случаях, когда конструкторская база задана воображаемой точкой (центр круга) или геометрическим местом точек (ось цилиндра). При расчете на прочность коленчатого вала за базы берутся оси цилиндров и оси сил реакций (скрытые базы). Естественно, что эти базы не могут быть реальными технологическими базами.

При выполнении принципа совмещения баз необходимо стремиться хотя бы с совмещению технологических и измерительных баз, что во многих случаях приводит к минимальным значениям погрешности базирования. На рис. 34 показана операция фрезерования лыски на валу с установкой вала на столе станка и в центрах. Конструкторской базой является ось вала. Из рисунка видно, что ось вала является и измерительной базой, так как от нее определяется размер  $K$ .

При установке вала на стол станка *установочной* технологической базой будет являться поверхность вала, соприкасающаяся с поверхностью стола следовательно, при данной схеме базирования валов конструкторская и измери-



тельная базы совпадают, но не совпадает с ними технологическая база. Тогда при фрезеровании лыски валов, диаметры которых колеблются от  $\varnothing_{\max}$  до  $\varnothing_{\min}$ , размер  $K$  будет колебаться от  $K_2$  до  $K_1$  (ось фрезы настроена на постоянный размер  $C$ ). Величина колебания данного размера равна допуску на диаметр вала  $J_{T_d}$  ( $J_{T_d} = \varnothing_{\max} - \varnothing_{\min}$ ). Если допуск на размер  $K$  ( $J_{T_k}$  будет больше  $J_{T_d}$ , то такая схема базирования может иметь место. Но если  $J_{T_k}$  меньше допуска на диаметр вала, то такая схема базирования будет давать погрешность, приводящая к появлению бракованных валов.

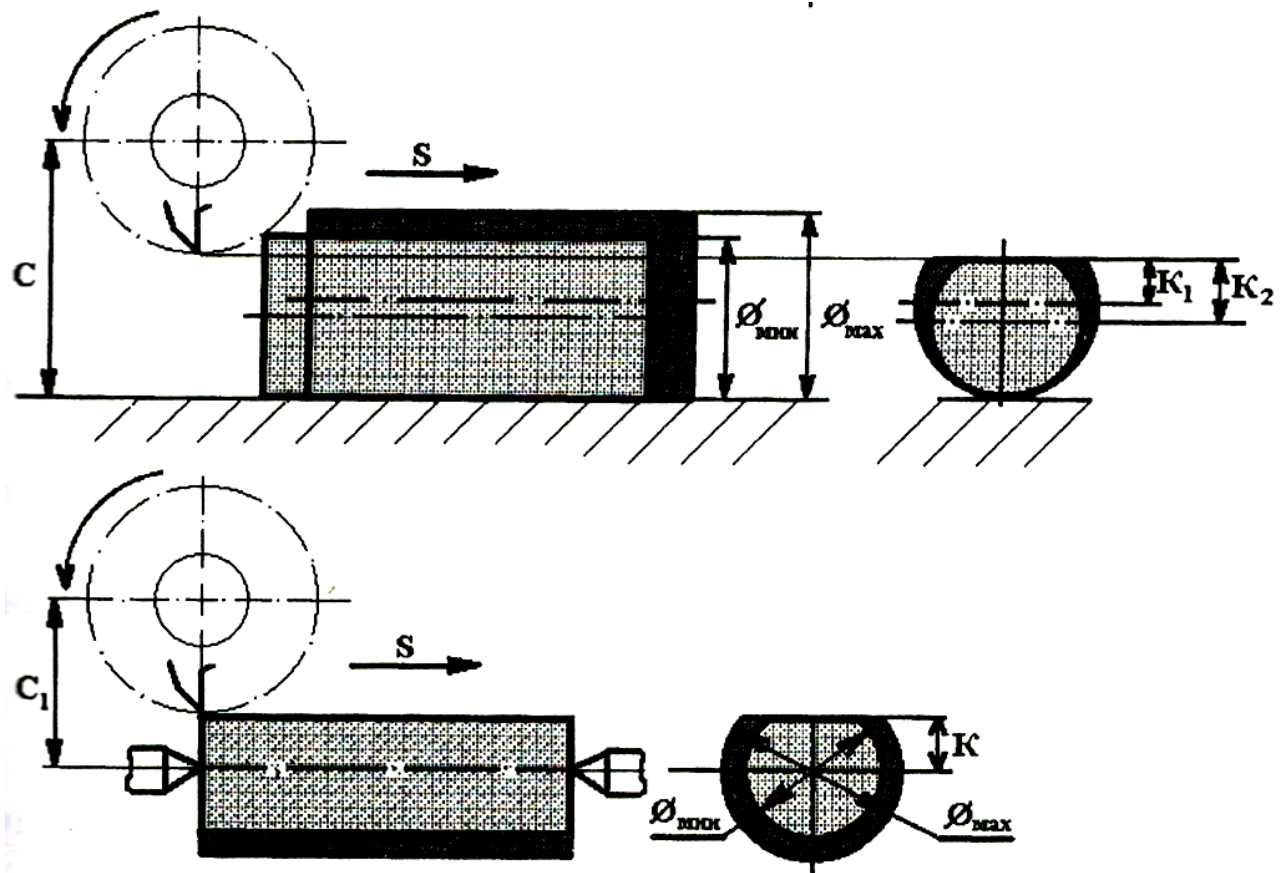


Рис. 6.14 Фрезерование лыски на валу при установке вала на столе станка или в центрах

При установке валов на центровые гнезда (в центрах) установочной базой будет являться так же ось вала, т.е. все три базы (конструкторская, измерительная и технологическая) будут совмещены. Ось фрезы настроена на постоянный размер  $C_1$ .

При данной схеме базирования колебания диаметров валов не будут влиять на размер  $K$ .

*Погрешность базирования на получение размера  $K$  равна нулю.*

Если по условиям работы не удастся выдерживать принцип постоянства базы, то в качестве новой базы необходимо принимать наиболее точную обработанную поверхность. Принцип постоянства и совмещения баз особое значение имеет при чистовых операциях, обеспечивающих заданную точность получаемых размеров.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Дайте определение понятия "базирование".
2. Что такое неопределенность базирования?
3. Что подразумевают при базировании заготовки по шести точкам?
4. Приведите примеры схем базирования ряда деталей при различных способах их обработки.
5. Что такое технологическая база и как она влияет на базирование?
6. Что подразумевает принцип постоянства баз?
7. Всегда ли выгодно выполнять принцип совмещения баз?
8. Во всех ли случаях, возможно, использовать как технологическую, так и конструкторскую базу?
9. Что такое технологическая база?
10. Что такое конструкторская база?

## ГЛАВА 7

### ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

#### 7.1. Основные понятия и определения

При изготовлении деталей на металлорежущих станках невозможно достичь абсолютных значений номинальных размеров обрабатываемых поверхностей, их формы и взаимного расположения обработанных поверхностей, осей или поверхностей и осей. В связи с этим на рабочих чертежах указываются допустимые отклонения размеров от номинальных, величины которых определяются соответствующим качеством точности, а также допуски на геометрическую форму и взаимное расположение поверхностей, осей или поверхностей и осей. Качество точности изготовления детали и допускаемые отклонения регламентируются Единой системой допусков и посадок и ее стандартами.

Под *точностью изготовления* детали на металлорежущем станке понимается степень соответствия всех параметров изготовленной детали требованиям рабочего чертежа и технических условий, указанные в чертеже. Чем больше это соответствие, тем выше точность механической обработки.

При обработке одной и той же заготовки с различной степенью точности изменяются трудоемкость и себестоимость. Изготовление детали с меньшим допуском колебания допустимых размеров (более высокий качество точности) значительно увеличивает себестоимость процесса обработки. Это связано с использованием дорогостоящих высокоточного оборудования и оснастки, измерительного инструмента и высокой квалификации производственных рабочих. Поэтому существует понятие - средняя экономическая точность получения размеров детали при определенном методе ее обработки в нормальных производственных условиях с меньшими затратами времени и средств, чем при других сопоставимых методах.

Степень точности (качество) изготовления детали на металлорежущем станке

оценивается следующими параметрами:

- точностью размеров (размерная точность);
- отклонениями формы (геометрическая точность);
- точностью взаимного расположения поверхностей, осей или оси и плоскости (пространственная точность).

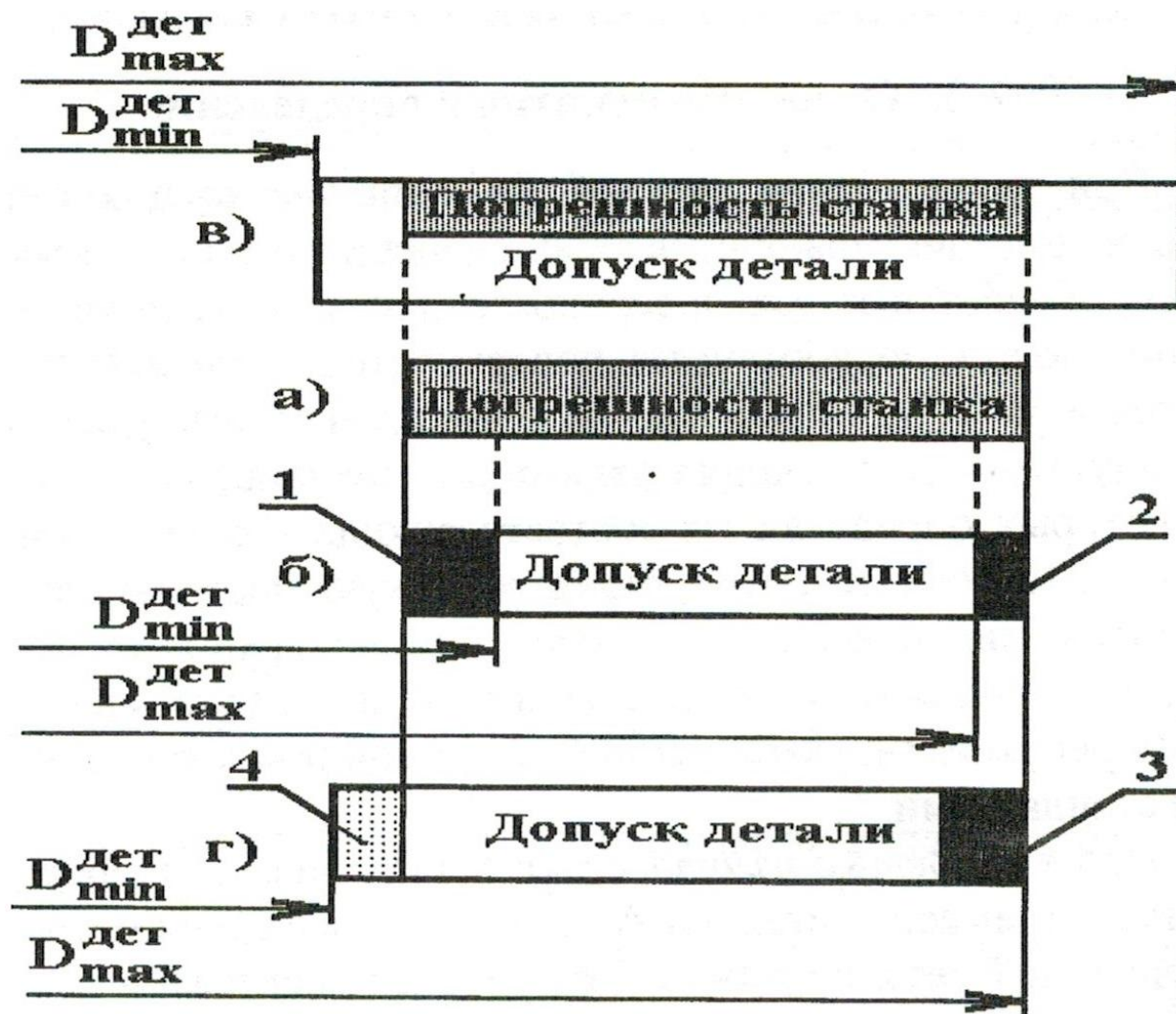


Рис. 7.1 Взаимное расположение поля погрешности системы СПИЗ и полей допусков при изготовлении детали.

1,2,3 – бракованные размеры, 4- размеры, не получаемые на данном станке.

Заданную степень точности размеров, форму и точность взаимного расположения поверхностей при изготовлении детали должны обеспечивать конкретные металлорежущие станки и технологическая оснастка, применяемые при той или иной операции. Поэтому на стадии технологической подготовки

производства и в процессе производства осуществляется оценка точности технологической операции. Сущность этой оценки в следующем.

Устанавливаются предельные размеры, которые выдаёт система СПИЗ (станок-приспособление-инструмент-заготовка) при обработке конкретного размера детали в зависимости от технического состояния станка и приспособления.

Определение предельных размеров системы СПИЗ осуществляется по специальной методике.

Величина допуска этих размеров называется "погрешностью" системы СПИЗ, а чаще - погрешность станка (рис. 7.1, а). Если величина поля погрешности станка больше величины допуска размеров на изготовление детали (б), то станок не пригоден для получения-этих размеров. Если же величина поля погрешности станка меньше величины допуска на размеры детали (в), то выбранный станок и оснастка удовлетворяют условию получения размеров детали с заданной точностью. Однако могут быть случаи, когда допуск на размер детали больше поля погрешности станка и бракованных деталей не должно быть. Но предельные размеры детали заданы так, что допуск детали смещен относительно поля погрешности станка. Тогда появляются бракованные детали (г), а ряд размеров детали (минимальных) по данной схеме не будут изготавливаться.

Таким образом, правило получения годных размеров детали - *поле погрешности станка должно лежать в поле допуска на изготавливаемый размер детали.*

## **7.2. Классификация погрешностей**

Под *погрешностью обработки* понимают отклонение полученного значения геометрического или другого параметра детали от заданного чертежом.

Настройка станка, погрешность мерительного инструмента при измерении размера и ряд других факторов составляют некоторую постоянную погрешность, которая систематически копируется на каждой детали из обрабатываемой партии. В ходе изготовления детали на разных (в соответствии

с технологией) станках появляется большое количество случайных причин (погрешностей), суммарно влияющих на заданную степень точности обработки детали. Случайные погрешности приводят к рассеиванию размеров и формы деталей. Поэтому погрешности при обработке деталей на металлорежущих станках подразделяют на:

- систематические постоянные;
- систематические изменяющиеся закономерно;
- случайные и - грубые.

*Систематически постоянные погрешности* создаются погрешностями станка. Данные погрешности зависят от технического состояния станка (например, смещение оси шпинделя относительно направляющих станины), от погрешности приспособлений (биение оправки, изменение расположения отверстий в кондукторе), погрешностями при заточке углов режущего и мерительного инструментов.

*Систематические погрешности, изменяющиеся закономерно*, вызываются непрерывным износом режущего инструмента и деталей станка, изменением температуры заготовки и инструмента в процессе резания и др.

Под *случайными погрешностями* понимаются *непостоянные* по значению и знаку погрешности, причину возникновения которых установить заранее не представляется возможным.

*Грубые погрешности* (или промахи) могут возникать как результат неправильной установки режущего инструмента, либо неправильного использования мерительного инструмента.

### **7.3. Обеспечение точности размеров детали**

Точность обработанной детали зависит от многих факторов, из которых можно выделить как основные:

1. точность станка и режущего инструмента;
2. точность установки заготовки на станке;
3. точность настройки станка;
4. Упругие деформации технологической системы;
5. температурные деформации станка, заготовки и инструмента;

6. внутренние напряжения в материале детали;
7. точность методов и средств измерения.

### ***1. Точность станка***

Вследствие неточности при сборке, износа деталей и узлов станка в процессе его эксплуатации возникают отклонения основных точностных характеристик станков от номинальных значений. Величины допускаемых отклонений регламентируются нормами точности станков и приведены в стандартах.

По точности металлорежущие станки классифицируются на 5 групп: нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В) и особо высокой точности (А) и особо точные (С).

Погрешности точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки (детали) в виде *систематических* погрешностей. Например, отклонение от параллельности оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости приводит к появлению конусообразности у обрабатываемой заготовки. Биение шпинделя токарных и шлифовальных станков искажает форму обрабатываемой заготовки в поперечном сечении.

По мере износа деталей и узлов станка в процессе эксплуатации точность станка ухудшается, и систематическая погрешность параметров детали увеличивается.

### ***2. Точность режущего инструмента***

На точность обработки детали влияют:

- неточность изготовления режущего инструмента;
- износ инструмента в процессе работы.

Геометрические неточности мерных и фасонных инструментов приводят к погрешностям обработки, так как их размер и профиль непосредственно передаются обрабатываемой заготовке. К мерным инструментам относятся сверла, зенкеры, развертки, к фасонным - резцы, дисковые, червячные и пальцевые фрезы, протяжки, резьбонарезной инструмент, а также профильные абразивные круги.

Примеры. Точность диаметра отверстий при сверлении их спиральными сверлами определяется допусками на диаметр сверл и погрешностями, возникающими в результате разбивки отверстий. Разбивка отверстий вызывается несимметричной заточкой режущих кромок, несоосностью хвостовика и рабочей части и обратной конусностью сверла. Применение кондукторных втулок значительно повышает точность получения отверстия спиральными сверлами.

При развертывании отверстий точность их диаметра во многом зависит от допуска на размер инструмента. Кроме того, при развертывании всухую отверстие разбивается в 2...4 раза больше, чем при применении технических средств охлаждения.

Погрешности мерного инструмента полностью копируются на обрабатываемой поверхности в виде постоянной систематической погрешности обработки.

В процессе обработки заготовки происходит прогрессирующий износ лезвия режущего инструмента, который вызывает погрешность обрабатываемого размера. Величину износа можно считать прямо пропорциональной времени резания или пути, пройденном режущим инструментом в металле заготовки (размерный износ). С повышением твердости материала заготовки износ лезвия возрастает. Уменьшить влияние размерного износа на точность механической обработки можно периодической подналадкой станка или применением систем автоматического контроля и управления. Последние широко применяются при абразивной обработке.

### ***3. Точность установки заготовки на станке***

Требуемое положение заготовки в рабочей зоне станка достигается в процессе ее установки. Процесс установки включает базирование и закрепление. Фактическое положение заготовки отличается от требуемого. Отклонение в положении заготовки, возникающее при базировании, называют погрешностью базирования  $\Delta \varepsilon_b$ ; при закреплении - погрешностью закрепления  $\Delta \varepsilon_z$ . В условиях единичного производства точность установки заготовки в приспособление станка обеспечивается индивидуальной выверкой ее установки по разметочным рискам или непосредственно по поверхностям заготовки. В серийном и массо-



вом производстве установку заготовок осуществляют без выверки в специальные приспособления на заранее выбранные базовые поверхности.

Таким образом, на точность обработки заготовки на металлорежущих станках при установке заготовки в приспособление станка влияют погрешности:

- погрешность базирования -  $\Delta\epsilon_{\text{б}}$ ;
- погрешность закрепления -  $\Delta\epsilon_{\text{з}}$ ;
- погрешность приспособления -  $\Delta_{\text{пр}}$ .

В связи с тем, что указанные погрешности могут иметь различные направления в пространстве (они являются векторами) и носят случайный характер, то их результирующая погрешность установки - определяется из выражения:

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta\epsilon_{\text{б}}^2 + \Delta\epsilon_{\text{з}}^2 + \Delta_{\text{пр}}^2} \quad (7.1)$$

Погрешность приспособления  $\Delta_{\text{пр}}$  зависит от:

- точности изготовления деталей и сборки приспособления;
- износа деталей и узлов приспособления в процессе эксплуатации;
- погрешности установки приспособления на станке;
- погрешности из-за конструктивных зазоров, требуемых для посадки заготовки на установочные элементы приспособления.

Приспособления изготавливаются с учетом требуемой точности получения размеров детали. При получении размеров деталей б... 12 квалитетов точности *допуски* на размеры деталей приспособления назначают в пределах 1/2... 1/3 допуска получаемого размера детали. В общем случае погрешность изготовления приспособления не должна превышать 1/5...1/10 доли допуска на соответствующий обрабатываемый размер детали.

Погрешность закрепления  $\Delta\epsilon_{\text{з}}$  возникает вследствие смещения заготовки под действием зажимных сил из-за непостоянства силы закрепления, неодинаковой твердости заготовок, неровностей на поверхностях заготовки и на опорах приспособления. Она может быть рассчитана, но чаще ее значение выбирают из справочников, учитывая вид установки – на постоянные опоры, опорные пластины, на призму, на центры и др.

Погрешность базирования  $\Delta \epsilon_b$  определяют соответствующими геометрическими расчетами или анализом размерных цепей. В общем случае погрешность базирования следует определять исходя из пространственной схемы расположения заготовки. Однако такой анализ весьма сложен. Поэтому для упрощения расчетов ограничиваются рассмотрением смещения только в одной плоскости (плоская схема расчета) или учитывая значения при пробных базировках. Необходимо отметить, что погрешность базирования (как, впрочем, и любая другая погрешность) рассчитывается для конкретных размеров.

Существуют ряд способов базирования заготовки в приспособление, когда погрешность базирования равна нулю:

- при совмещении технологической и измерительной баз (соблюдение принципа совмещения баз);
- для диаметральных размеров;
- при работе методом пробных промеров и рабочих ходов, т.е. когда настройка положения инструмента производится для каждой заготовки (случай работы на ненастроенном станке).

Для ряда приспособлений можно заранее знать величину погрешности базирования. Так при базировании заготовки на цилиндрической оправке (с упором в торец) с зазором погрешность базирования численно равна половине зазора. При несоблюдении принципа совмещения баз величина погрешности базирования равна допуску на размер между установочной технологической и измерительной базами.

Для уменьшения погрешности установки необходимо:

- выполнять правила выбора баз;
- повышать точность выполнения размеров технологических баз, уменьшать их шероховатость;
- применять одинаковый по твердости материал заготовок;
- соблюдать постоянство усилия зажима заготовки;
- выбирать направление действия силы зажима против опоры или так, чтобы она не влияла на размер обработки;

- повышать точность и жесткость приспособлений.

#### 4. Точность настройки станка

Для выполнения технологической операции необходимо подготовить технологическое оборудование и технологическую оснастку, т.е. установить приспособление, суппорты, оправки, режущие инструменты. Эта подготовка называется *наладкой* (ГОСТ 3.1109). Часть наладки, относящаяся к установке инструмента, установочных элементов приспособления, которое обеспечивает получение размера в поле допуска, называется размерной настройкой станка на наладочный размер. Наладочный размер - такое начальное значение среднего случайного размера, при котором исключается выход действительных размеров обрабатываемых деталей за границу поля допуска и достигается наибольшая возможность продолжительной работы станка до подналадки.

По мере износа режущего инструмента изменяются получаемые размеры деталей. Средний случайный размер при обработке валов смещается в сторону увеличения, при обработке отверстий - в сторону уменьшения. Поэтому при обработке валов желательно настраивать станок на средний случайный размер, расположенный близко к наименьшему предельному размеру, а при обработке *отверстий* - близко к наибольшему предельному размеру. При таких условиях износ инструмента будет вызывать изменение размера в сторону поля допуска обрабатываемого размера и станок длительное время будет работать без подналадки.

Периодическая смена затупившего инструмента вызывает необходимость каждый раз настраивать станок на выполняемый размер. Но невозможно достичь строго одного и того же наладочного размера. Поле рассеивания наладочного (положения инструмента при настройке) называется погрешностью настройки  $\Delta_n$  (рис. 7.2). Погрешность настройки является величиной постоянной при одной настройке и случайной величиной при большом количестве настроек, подчиняясь закону нормального распределения. На рис. 7.2  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  – предельные размеры детали,  $T$  – допуск на изготовление детали,  $Z$  – припуск на обработку.

Определение значения наладочного размера достигается двумя способами.

Первый способ статический. Настройка наладочного размера производится по калибрам, эталонам, различным измерительным устройствам на неработающей станке или вне станка (при использовании съемных суппортов, расточных скалок, револьверных головок и других устройств).

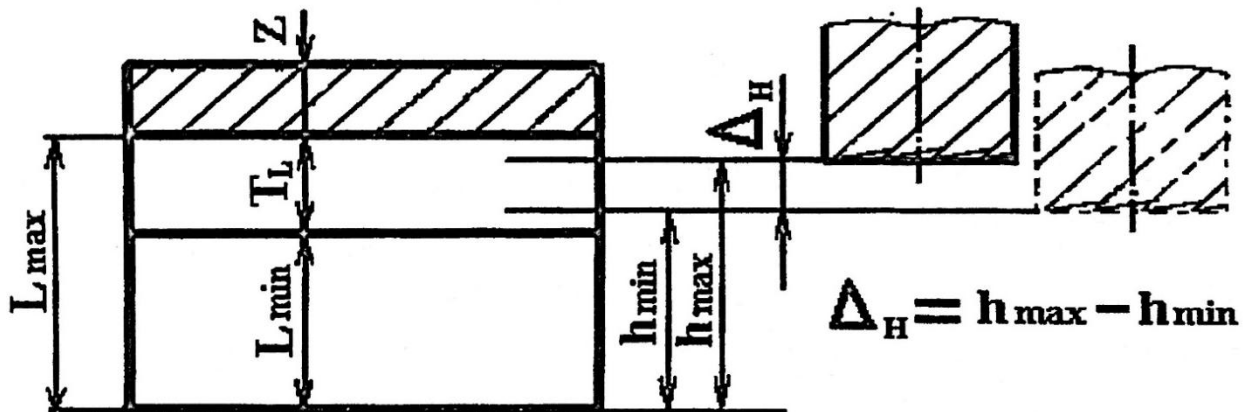


Рис. 7.2 Схема определения погрешности настройки станка.

К преимуществам статической настройки можно отнести: малую трудоемкость, обеспечивает получение стабильных результатов при наладке многоинструментальных обработок (настройке многолезцовых станков, инструментальных блоков для агрегатных станков и др.), сравнительно невысокую квалификацию наладчиков.

Второй способ динамический. Наладочный размер определяется методом пробных рабочих ходов (пробных стружек) и по пробным заготовкам. Эта наладка имеет динамический характер, т.е. выполняется при упруго отжатой силами резания технологической системе. Данный способ применяется в единичном и мелкосерийном производствах и при изготовлении крупных деталей из заготовок с нестабильными припусками. Он более точен, чем статический. Недостатком метода являются большие затраты вспомогательного времени.

### **5. Упругие деформации технологической системы**

Под технологической системой понимают станок – приспособление – инструмент – заготовка (система СПИЗ). Силы резания, закрепления, инерционные силы, возникающие при обработке заготовок на металлорежущих станках, передаются на технологическую систему, вызывая ее упругую деформацию.

Деформации системы СПИЗ складываются из деформаций основных деталей системы, а также деформаций соединительных узлов и деталей (болты, клинья и др.).

Способность системы СПИЗ оказывать сопротивление действию сил, стремящихся ее деформировать, характеризует ее *жесткость*. Погрешности при обработке деталей, возникающих в результате упругих деформаций системы СПИЗ, могут достигать до 80% от суммарной погрешности при получении заданного размера детали. Наиболее существенное влияние на размер обрабатываемой детали оказывают перемещения звеньев технологической системы в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности. Эти перемещения обусловлены действием составляющей силы резания  $P_y$ . Поэтому в технологии машиностроения *жесткостью* технологической системы принято называть отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности ( $P_y$ ), к смещению режущей кромки инструмента, измеряемое в том же направлении ( $y$ ):

$$j = P_y / y, \text{ (Н/мм)} \quad (7.2)$$

Для более точных расчетов учитывают равнодействующую от всех трех сил резания. Однако влияние  $P_z$  и  $P_x$  на величину  $y$  сравнительно невелико, поэтому в расчетах учитывается только сила  $P_y$ .

На рис. 7.3 показана схема отжатий элементов технологической системы от силы резания для случая продольного точения:  $y_1$  – смещение заготовки;  $y_2$  – смещение инструмента;  $t$  – заданная глубина резания;  $t_{\text{фак}}$  – фактическая глубина резания. На рисунке «а» - позиция инструмента до начала резания, «б» - в процессе резания.

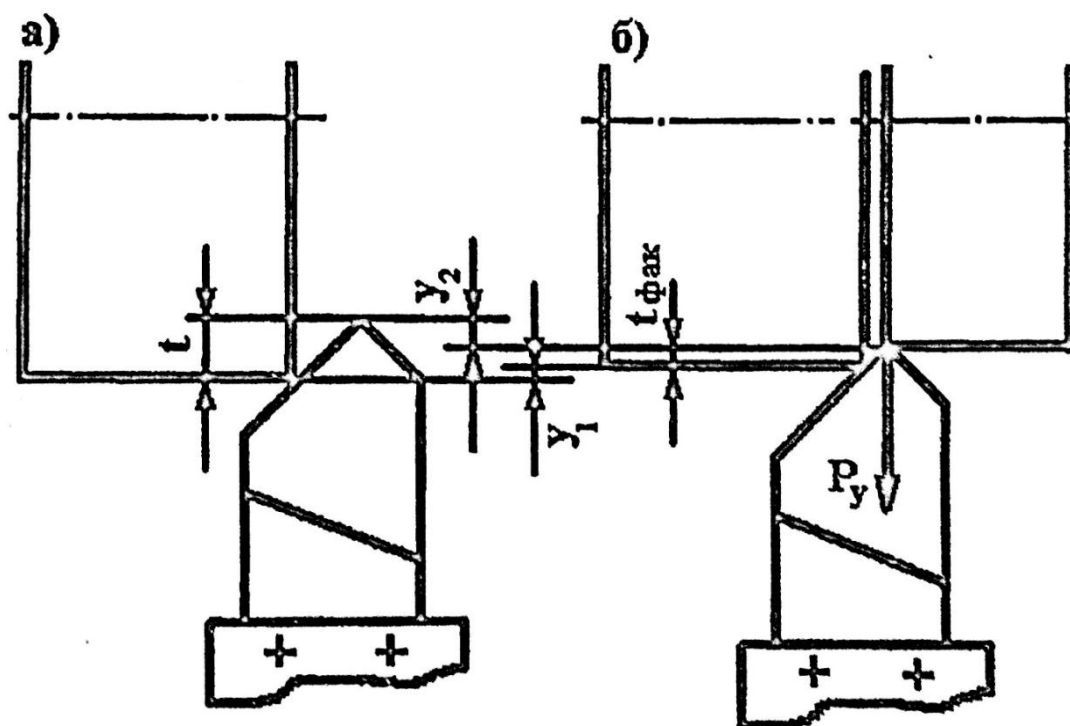


Рис. 7.3 Схема отжатия резца от детали силами резания

Сумма смещений  $y_1 + y_2 = y$  представляет собой погрешность получаемого размера. Для упрощения технологических расчетов часто пользуются понятием податливости.

*Податливостью* называется величина обратная жесткости:

$$\Omega = 1 / j, \quad (\text{мм/Н}) \quad (7.3)$$

Нормативные значения статической жесткости станков приводятся в соответствующих стандартах. Эти нормативные значения устанавливаются как функции от основных размерных параметров станка. Для токарных станков в качестве основного размерного параметра принят наибольший диаметр изготавливаемой детали ( $D$ ), для горизонтально-расточных станков - диаметр шпинделя ( $D_{\text{шп}}$ ). В таблице 7.1 приведены ориентировочные величины жесткости токарных станков.

Таблица 7.1. Величины жесткости токарных станков

Высота центров, мм	200	250	300	400	500
Статическая жесткость $j_{\text{ст}}$ , Н/мм	20000	25000	30000	40000	50000
Средняя жесткость узлов	40000	50000	60000	80000	100000

Жесткости узлов изношенных и разрегулированных станков снижается до 10000 Н/мм. С увеличением жесткости технологической системы повышается точность и производительность обработки. Существует большой список рекомендаций с целью уменьшения погрешности от упругих деформаций технологической системы. Ниже приведены некоторые из них:

- выбирать станки, инструмент, оснастку достаточной жесткости;
- правильно устанавливать и закреплять заготовки;
- уменьшать количество звеньев и стыков технологической системы;
- выбирать наиболее рациональные режимы резания и т.д.

#### ***6. Температурные деформации станка, заготовки и инструмента***

В процессе механической обработки заготовок на металлорежущих станках происходит нагрев технологической системы. Источниками нагрева являются тепло:

- выделяющееся в узлах станка (трение в подшипниках и зубчатых передачах);
- образующееся в зоне резания;
- от внешних источников;
- от различных устройств - электрических, гидравлических и др.

Нагрев технологической системы приводит к ее упругой деформации, появлению погрешностей обработки  $\Delta_T$ .

Средняя температура в коробках скоростей и других подобных узлах 65...80°C. Установлено, что температура в разных точках станка различается на 10...60°C, вызывая деформацию отдельных его узлов и деталей. Значительное влияние на тепловые деформации станка оказывает применение смазочно-охлаждающих средств (СОС). СОС отводит большое количество тепла из зоны резания и одновременно разогревает те части станка и станины, по которым оно движется. Температурные деформации вызывают не только смещение узлов станка, но и изменение их жесткости в положительную или отрицательную сторону.

Кроме тепловых деформаций станка на точность обрабатываемых поверхностей влияют тепловые деформации обрабатываемых заготовок. Механическая работа резания почти полностью переходит в теплоту. Распределение теплоты резания между стружкой, деталью, инструментом и окружающей средой зависит от метода, условий обработки, физикомеханических свойств обрабатываемого материала заготовки и материала инструмента. При обработке точением углеродистых сталей (материал с высокой теплопроводностью) теплота распределяется следующим образом: 60...70% в стружку, 5... 10% в инструмент, 20... 35% в заготовку и около 1% в окружающую среду. При сверлении около 55% тепла переходит в заготовку. При фрезеровании открытых поверхностей до 85% тепла уходит в стружку. Наибольшее количество теплоты переходит в заготовку при шлифовании - до 60...85%.

Увеличением скорости резания и подачи можно снизить тепловой поток в заготовку. В этом случае стремятся отделить чистовые операции от черновых. Применение СОС эффективно уменьшает нагрев обрабатываемой заготовки. В этом случае ее температурные деформации весьма незначительны и их влияние на точность обработки можно не учитывать.

Тепловые деформации массивных заготовок незначительны и их влиянием на точность обработки часто можно пренебречь. Наибольшие тепловые деформации возникают при обработке тонкостенных заготовок и изготовлении деталей на поточных линиях, где чистовая обработка следует сразу же за черновой.

Влиянием тепловых деформаций режущего инструмента на точность обработки практически можно пренебрегать, так как большинство операций происходит при обильном охлаждении зоны резания. С целью уменьшения температурных деформаций и их влияние на точность обработки необходимо:

- разогревать станок перед работой, не устраивать больших перерывов в работе, стремиться работать в условиях теплового равновесия;
- правильно выбирать режимы обработки;
- применять охлаждающие средства;
- предусматривать места охлаждения на поточных линиях;



- измерение деталей производить после охлаждения;
- стремиться к использованию приборов активного контроля, с помощью которых существенно снижается роль температурных деформаций на точность обработки деталей;
- для изготовления базовых деталей и других элементов технологической системы использовать материалы с малым коэффициентом линейного расширения.

### ***7. Внутренние напряжения в материале детали***

Внутренними напряжениями называются напряжения, которые существуют в материале детали при отсутствии внешних нагрузок. Они уравновешены и их действие на деталь внешне ничем не проявляется. С нарушением этого равновесия по каким-то причинам деталь начинает деформироваться до тех пор, пока перегруппировка напряжений не приведет к новому равновесному состоянию. Такими причинами являются удаление с заготовки отдельных слоев металла, тепловые и ударные воздействия на заготовку или деталь и др.

Различают три рода внутренних напряжений. Напряжения первого рода уравновешиваются в пределах больших объемов материала, соизмеримых с размерами обрабатываемых заготовок. Напряжения второго и третьего рода образуются в микроскопических и ультрамикроскопических объемах. В технологии обработки заготовок на металлорежущих станках наибольшее внимание уделяется напряжениям первого рода.

По причине образования внутренние напряжения подразделяют на две группы: эксплуатационные и технологические. Первые вызываются в деталях в процессе работы конструкции изделия, вторые - возникают в детали после ее изготовления. Но и в процессе изготовления детали в заготовке возникают внутренние напряжения, вызывающие деформацию заготовки; это, в свою очередь, приводит к погрешностям формы и относительного расположения поверхностей. Большие деформации заготовок возникают особенно после проведения термических операций, предусмотренных для изготовления детали. Например, при закалке метчиков часто наблюдается уменьшение шага резьбы.

С целью снижения влияния внутренних напряжений на точность обработки при изготовлении детали в технологическом процессе предусматриваются начальные и промежуточные термические операции отжига и отпуска.

Наиболее опасными являются растягивающие напряжения, которые являются причиной появления на поверхности детали микротрещин, переходящие в процессе эксплуатации детали в макротрещины, а затем в изломы. Растягивающие напряжения появляются при абразивной обработке, а в большинстве чистовых процессов предусмотрено операции шлифования и хонингования. Для уменьшения величин растягивающих напряжений применяют операцию наклепа (тонкое пластическое деформирование, дорнование, обработка дробью, бойками и т.д.).

### ***8. Точность методов и средств измерений***

При мелкосерийном и единичном производстве обычно пользуются универсальным шкальным измерительным инструментом, применение которого требует достаточно высокой квалификации рабочего и длительности времени на процесс измерения. Погрешности при измерении шкальными инструментами возникают в связи с неточностью самого измерительного прибора, индивидуальными особенностями лица, выполняющего измерения и под влиянием колебания температуры в цехе и температуры обрабатываемой детали.

По возможности последние причины стремятся исключить, используя цифровые приборы, производя измерения остывших деталей и в специально оборудованных местах контроля. На рабочих местах, там, где это можно, заменяют шкальные инструменты калибрами и шаблонами.

Контроль размеров изготавливаемых деталей при крупносерийном и массовом производстве осуществляется практически полностью предельными калибрами. Применение предельных калибров полностью исключает погрешность измерения.

### Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Что понимают под точностью механической обработки?
2. Чем отличается нормированная точность от действительной?
3. Перечислите виды погрешностей и дайте им краткие характеристики.
4. Всегда ли при обработке заготовки присутствуют систематические погрешности?
5. Назовите группы точности станков.
6. Приведите примеры влияния режущего инструмента на точность размеров при обработке данным инструментом.
7. Что представляют собою упругие деформации технологической системы?
8. Что понимаете под технологической системой понимают?
9. Назовите величины жесткости токарных станков.
10. Какие бывают температурные деформации станка, заготовки и инструмента?

## ГЛАВА 8

### СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

#### 8.1. Назначение приспособлений и их классификация

Станочными приспособлениями называют дополнительные устройства к металлорежущим станкам, служащие для установки и зажима заготовок без предварительной их разметки, а также для направления режущего инструмента. Производительность и качество обработки заготовки на металлорежущих станках в значительной мере зависят от того, насколько надёжно, точно и быстро крепиться заготовка и инструмент в приспособлении.

По целевому назначению все используемые в технологическом процессе изготовления детали приспособления делят на 5 групп:

1. Станочные приспособления - для установки и закрепления заготовок на станках;
2. Приспособления для крепления режущего инструмента;
3. Сборочные приспособления - для сборки узлов и агрегатов машин;
4. Контрольные приспособления - для контроля размеров при обработке и сборке;
5. Приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок.

По степени специализации станочные приспособления делят на универсальные, специальные и специализированные (рис. 8.1).

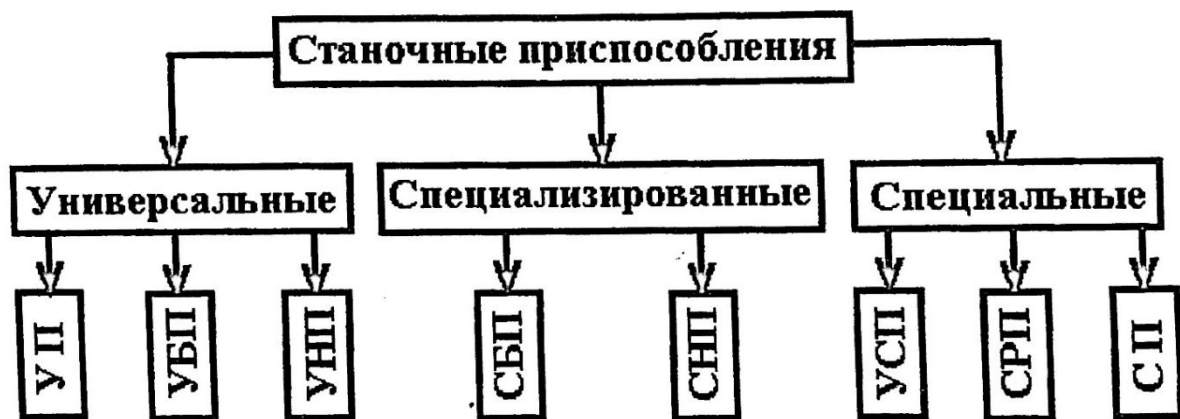


Рис.8.1 Специализация станочных приспособлений.

*Универсальные приспособления (УП)* применяют для установки и закрепления заготовок разных по форме и размерам и, обрабатываемых на различных металлорежущих станках, в единичном и мелкосерийном производствах. Универсальность достигается регулированием установочных и зажимающих элементов приспособления без их замены. К ним относятся кулачковые и поводковые патроны, машинные тиски, делительные головки и т.д.

Затраты вспомогательного времени на обслуживание универсальных приспособлений, особенно с ручным управлением, повышенные, но в условиях названных производств эти затраты не являются основным экономическим фактором.

*Универсальные безналадочные приспособления (УБП)* - используют для закрепление заготовок широкой номенклатуры и различной конфигурации. Применяются в единичном и серийном производстве. К ним относятся: универсальные патроны с неразъемными кулачками, универсальные фрезерные тиски, поворотные столы и др.

*Универсально-наладочные приспособления (УНП)*. Данные приспособления состоят из установочных (наладочные) и зажимных (универсальных постоянных) элементов. Наладочная часть состоит из *сменных* наладок, которые изготавливают в соответствии с формой и габаритными размерами обрабатываемых заготовок. Универсальная часть включает в себя корпус, силовой привод и базовые элементы для установки *сменных* наладок.

Каждое сменное наладочное устройство, в основном, рассчитывают на применение для одной операции. Для максимального использования УНП на одном станке универсальную часть приспособления изготавливают двух и (или) трехсторонней и на каждой стороне закрепляют сменную наладку. С помощью такого приспособления можно выполнять две-три операции, т.е. применить метод концентрации операций на одном станке.

Трудоемкость изготовления сменных наладок УНП на 60-70% меньше трудоемкости изготовления *специальных* приспособлений для установки таких же деталей.

Универсальную часть УНП используют многократно, что значительно сокращает сроки и стоимость подготовки производства при выпуске новых машин.

УНП применяют при частой переналадке станков на обработку различных заготовок схожих по форме. Их используют на токарных, фрезерных, сверлильных и других станках. К УНП относятся универсальные патроны со сменными кулачками, универсально-наладочные машинные тиски, групповые приспособления и т.д.

Эти приспособления позволяют значительно повысить коэффициент оснащенности технологического процесса.

*Специализированные безналадочные приспособления (СБП)* используют для закрепления заготовок, близких по конструктивно-технологическим признакам, с одинаковыми базовыми поверхностями, требующих одинаковой обработки, например, различные валики или различные втулки, или фланцы, диски, кронштейны, корпусные детали и т.п.

При осуществлении однотипных операций на этих приспособлениях осуществляется только регулировка отдельных элементов наладки.

Специализированные наладочные приспособления применяют для установки и закрепления группы деталей, близких по конструктивно-технологическим размерам, способам обработки и по общности установочных поверхностей (технологических баз).

СНП состоит из двух частей: универсальной и сменной. Универсальная часть приспособления является постоянной и состоит из корпуса, привода и базовую поверхность, на которую устанавливают специальные сменные наладки под конкретные обрабатываемые заготовки. Во многих случаях универсальная часть приспособления имеет несколько вспомогательных базовых поверхностей для установки на них специальных сменных наладок, выполняющие различные функции, например, направление режущего инструмента, управлением механизма зажима заготовки и т. д.

Сменная часть приспособления состоит из нескольких *специальных сменных* наладок, изготавливаемых в соответствии с формой и размерами тех деталей, которые будут обрабатываться на данном приспособлении. В некоторых конструкциях приспособлений для обработки однотипных деталей, отличающихся только размерами, ее переналадка может осуществляться не только путем замены специальных сменных наладок, но и путем плавного или ступенчатого регулирования подвижных частей установочных элементов.

Типы и основные размеры СНП определены государственными стандартами. СНП применяют в серийном и крупносерийном производствах при групповой обработке заготовок.

*Универсально-сборные приспособления (УСП).* Система УСП, разработанная еще в 1947 году, заключается в том, что любое специальное станочное приспособление собирается из стандартизованных и нормализованных деталей и узлов, заранее изготовленных и многократно используемых (рис. 8.2).

Основой для сборки станочных приспособлений в системе УСП является заводской комплект стандартизованных нормализованных элементов, состоящих из большого количества базовых, корпусных, установочных, направляющих, прижимных, крепежных и других деталей и узлов различных по конструкции.

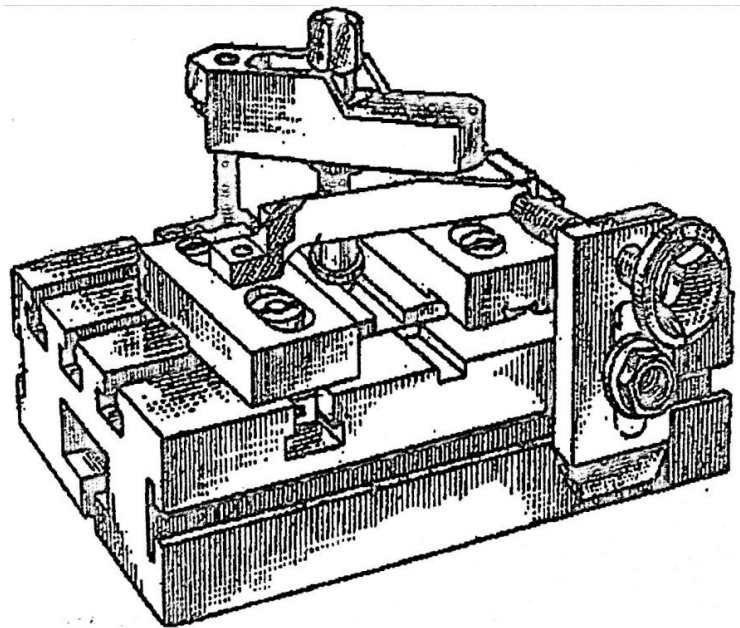


Рис. 8.2 Универсально-сборочное приспособление.

В среднем заводской комплект УСП машиностроительного завода содержит 15000...25000 деталей. Из комплекта в 20000 деталей можно одновременно собрать 150...300 приспособлений для изготовления изделий на различных станках. Минимальный комплект элементов УСП, обеспечивающий приме-

ние этой системы на заводе, колеблется в пределах 1,5... 2,5 тыс. деталей, из которых за год можно собрать несколько сот различных приспособлений УСП.

Весь комплект УСП делят по функциональным признакам на восемь групп: базовые детали, корпусные, установочные, направляющие, прижимные, крепежные, разные и неразборные узлы. Базовые, корпусные, установочные, направляющие и крепежные детали изготавливаются по соответствующим стандартам (ГОСТ 15185, 15465 и др.). Основными техническими требованиями, предъявляемыми к элементам комплекта, являются их повышенная износостойкость, точность размеров и малая шероховатость рабочих поверхностей. В среднем элементы УСП служат 10...15 лет.

Преимущества применения системы УСП:

1) возможность использование универсально-сборочных приспособлений на таких технологических операциях, где применение специальных приспособлений нерентабельно;

2) значительное снижение трудоемкости и себестоимости изготовления технологической оснастки при переходе к выпуску новой машины;

3) время, необходимое на сборку одного УСП для станочной работы, составляют не более 2...3 ч.

4) позволяет собирать приспособления для станочных, сварочных, контрольных и других видов работ.

*Сборно-разборные приспособления (СРП)* являются разновидностью оснастки многократного применения.

В СРП элементом фиксации является цилиндрический палец и точное отверстие (в УСП фиксация деталей осуществляется системой "шпонка - точный паз"). Этот способ фиксации имеет ряд эксплуатационных и технологических преимуществ, например, возможность изготовления крупногабаритных базовых деталей и сборочных единиц (плит, угольников и т.д.).

К группе базовых сборочных единиц для компоновки СРП относятся прямоугольные и круглые плиты как механизированные, так и немеханизированные, различные типы угольников. Прямоугольные немеханизированные плиты пред-



ставляют собой прямую призму. На верхней поверхности призмы имеется сетка координатно-фиксирующих отверстий, точность которых соответствует 7-му качеству.

*Компоновки механизированных приспособлений* СРП на базе прямоугольных плит с гидравлическим приводом имеют некоторые преимущества перед компоновками аналогичных приспособлений на базе немеханизированных прямоугольных плит.

Из деталей и сборочных единиц СРП разработаны два специализированных комплекта: первый комплект предназначен для оснащения сверлильных и фрезерных станков с программным управлением, второй - для многооперационных и расточных станков с ЧПУ.

*Специальные приспособления* (СП) служат для обработки только конкретной заготовки на конкретной операции, т. е. они являются одноцелевыми. Специальные приспособления обладают большими преимуществами. Они позволяют без выверки придать каждой из партии заготовок требуемое расположение относительно станка и режущего инструмента. Благодаря этому при одной настройке станка можно обрабатывать всю партию заготовок с заданной точностью. А это повышает производительность операции, облегчает труд станочника, освобождая его от выверки детали и необходимости выполнения пробных проходов.

Недостатками данных приспособлений являются:

- большие расходы на проектирование и изготовление;
- стоимость приспособления при изготовлении малых партий деталей существенно повышает себестоимость данных деталей;
- при изменении чертежа детали или прекращении выпуска данного изделия приспособление не может быть использовано для других целей.

Такие приспособления, как правило, приходится списывать, независимо от степени их физического износа.

Указанные недостатки в условиях крупносерийного и массового производства мало отражаются на себестоимости продукции, так как партии получаемых

деталей большие и затраты на изготовление приспособления быстро окупаются.

В условиях же индивидуального и мелкосерийного производства применение специальных приспособлений часто сказывается экономически нецелесообразным. Конструкции всех станочных приспособлений используют типовые элементы, которые можно разделить на:

- установочные элементы, определяющие положение заготовки в приспособлении в процессе ее обработки;
- зажимные элементы - устройства и механизмы для крепления заготовки или подвижных частей приспособлений;
- элементы для направления режущего инструмента и контроля его положения;
- силовые механизмы для приведения в действие зажимных элементов (механические, электрические, пневматические, гидравлические);
- корпуса приспособлений, на которых крепят все остальные элементы;
- вспомогательные элементы, служащие для изменения положения заготовки в приспособлении относительно инструмента, для соединения между собой элементов приспособлений и регулирования их взаимного положения.

## **8. 2. Установочные элементы приспособлений**

Установочные элементы приспособлений служат для установки на них обрабатываемую заготовку. Эти элементы называют опорами. Они подразделяются на основные (базовые) и вспомогательные.

Основные опоры служат для базирования заготовки в приспособлении и лишения ее всех или нескольких степеней свободы в соответствии с требованиями к обработке. Во избежание деформаций заготовок, закрепленных в приспособлении, кроме основных опор применяют еще и дополнительные, вспомогательные опоры. Количество их в конструкции приспособления может быть самым разнообразным, так как определяется оно условиями обработки, жесткостью и конфигурацией детали. Основные опоры приспособлений применяются в виде опорных штырей, пластин, призм, установочных пальцев и др. При базировании заготовок плоскими поверхностями установочные элементы

выполняются в виде неподвижных опорных штырей (рис. 8.3,а) и пластин (рис. 8.3,б).

Для базирования заготовок цилиндрической формы применяют установочные призмы, а при базировании по отверстию - установочные пальцы.

Для установки необработанных поверхностей применяют опоры - штыри со сферической головкой (1) и с насечкой (2). В первом случае закрепление соприкасающихся поверхностей будет близким к точечному, во втором - более надёжное.

Заготовки с обработанными поверхностями устанавливаются на штыри с плоской головкой (3), а если они больших размеров - на пластинки. Иногда пластинки устанавливают на контрольных штифтах, а опоры - штыри вставляют в закалённые втулки, впрессованные в корпус приспособления. Применение втулок облегчает ремонт приспособлений.

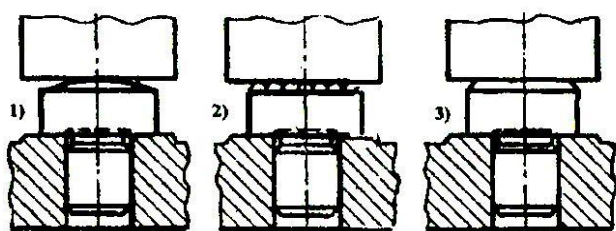


Рис. 8.3,а Опорные штыри.

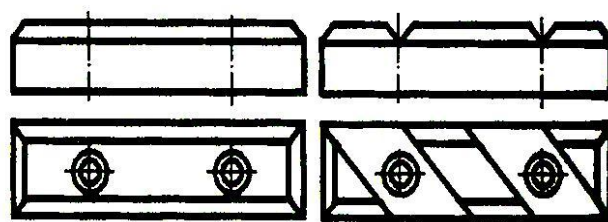


Рис. 8.3,б Опорные пластины.

С целью устранения ошибок, возникающих при обработке различных заготовок, часть опор делают регулируемыми, если приспособления применяются в мелкосерийном производстве и в них обрабатывают заготовки разных размеров. Регулируемые или подвижные опоры, благодаря наличию винтовой пары позволяют перемещать (регулировать) положение точки опоры. При установке заготовок на базовые отверстия используют установочные пальцы (рис. 8.4,а). Пальцы могут быть постоянные и сменные. Корпусные заготовки (плиты, рамы, станины, кронштейны) базируются при установке по двум цилиндрическим отверстиям с параллельными осями и плоскости, которая расположена перпендикулярно им (рис. 8.4,б). Точно обработанная плоскость 3 и отверстия 1 и 2 обеспечивают фиксацию заготовок на автоматических линиях.

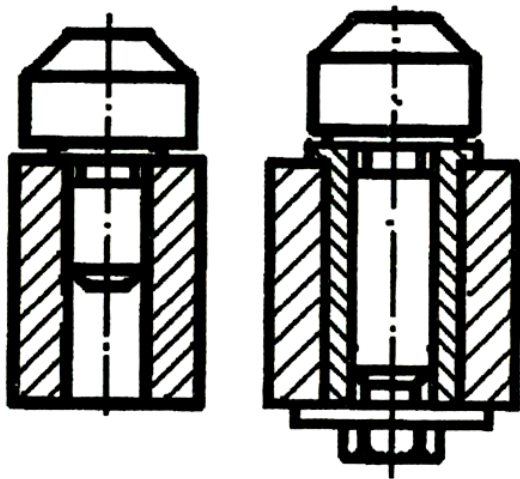


Рис. 8.4,а Установочные пальцы.

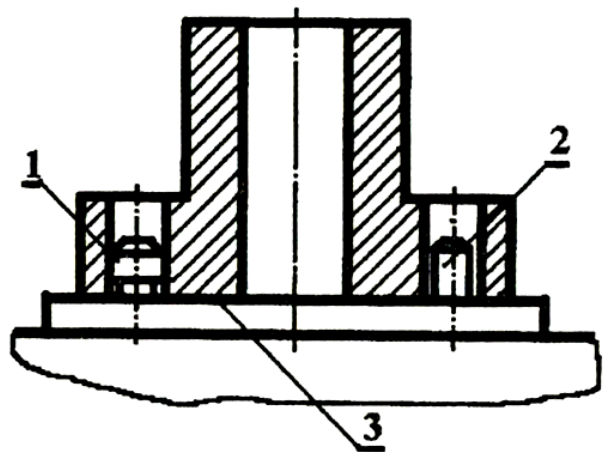


Рис. 8.4, б Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям.

Один из пальцев (2) входит в отверстие корпуса с достаточно большим зазором. Это делают, потому что межцентровое расстояние для партии заготовок изменяется в пределах допуска  $\delta$ . Пальцы могут быть конусными, плавающими, установочными и т.д. Конструкции оправок. Для обработки наружных поверхностей заготовок в виде втулок применяют оправки. Оправки применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить наиболее точную concentricity наружных поверхностей обрабатываемой заготовки с ее отверстием. В этом случае вначале обрабатывают отверстие, затем заготовку устанавливают на оправку и обрабатывают все остальные поверхности. На рис. 8.5, а показана оправка с упругой гильзой, разжимаемой гидропластом.

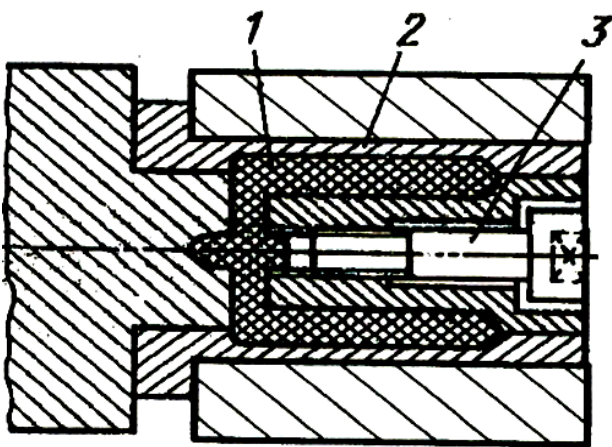


Рис. 8.5, а Оправка с гидропластом.

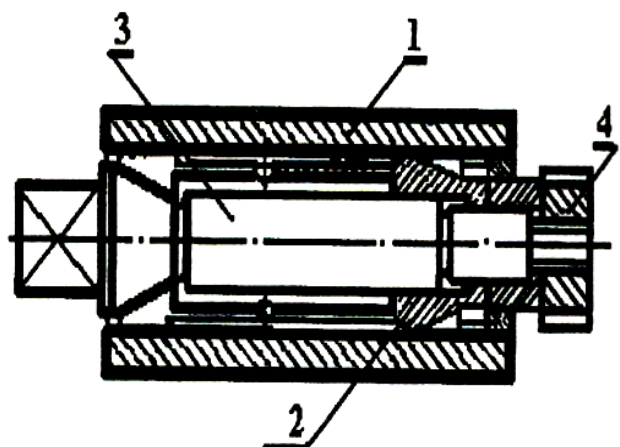


Рис. 8.5, б Разжимная цанговая оправа.

При установке заготовку насаживают на тонкостенную гильзу 2. Закрепление

происходит вследствие сжатия гидропласта 1 винтом 3. Способ закрепления с применением гидропласта позволяет получить высокую степень концентричности (биение 0,005...0,01 мм).

Широко распространены разжимные цанговые оправки (рис. 8.5,6), представляющие собой стальной пустотелый цилиндр 2, расточенный внутри на конус и имеющий несколько несквозных разрезов. Этот цилиндр надевают на точно пригнанный конусный стержень 3 с винтовым хвостовиком. При затягивании гайки 4 стержень разжимает в небольших пределах наружный цилиндр и закрепляет посаженную на него заготовку.

### **8. 3. Зажимные устройства приспособлений**

При обработке заготовки на металлорежущем станке на нее действуют силы резания. Их величина, направление и место приложения могут изменяться в процессе резания каждой из обрабатываемых поверхностей. Изменение величины силы резания может происходить из-за изменения глубины резания в момент врезания и выхода инструмента, а также из-за колебаний величины припуска, затуплении инструмента и других причин. Направление и точка приложения силы резания изменяются вследствие перемещения инструмента вдоль обрабатываемой поверхности и изменения условий обработки. Силы резания и моменты, создаваемые ими, стремятся переместить и повернуть заготовку. Несмотря на воздействие переменных сил резания, заготовка в процессе обработки должна сохранять неизменное положение относительно установочных элементов, иначе будут возникать дополнительные погрешности, возможна поломка режущего инструмента и т.п.

Чтобы заготовка сохраняла в процессе обработки неизменное положение, ее необходимо надежно закреплять в приспособлений. Лишь в редких случаях, когда заготовка имеет значительный вес, а силы резания малы, ее можно обрабатывать без закрепления. При закреплении заготовки в приспособлении должны соблюдаться следующие основные правила:

- не должно нарушаться положение заготовки, достигнутое при ее установке;
- закрепление должно быть надежным, чтобы во время обработки положение

заготовки сохранялось неизменным;

- возникающее при закреплении смятие поверхностей заготовки, а также их деформация должны быть минимальными и находиться в допустимых пределах.

Несоблюдение любого из этих правил может привести к возникновению погрешностей обработки, а изменение положения заготовки в процессе резания может привести к поломке режущего инструмента. Выполнение указанных правил закрепления достигается благодаря рациональному выбору схемы закрепления и величины зажимного усилия. Выполнение большинства этих требований связано с правильным определением величины, направления и места положения сил зажима.

Расчет сил зажима может быть сведен к решению задачи статики на равновесие твердого тела (заготовки) под действием системы внешних сил. К заготовке с одной стороны приложены силы тяжести и силы, возникающие в процессе обработки, с другой - определяемые зажимные силы и реакции опор. Под действием этих сил заготовка должна сохранить равновесие.

Величину сил резания и их моментов определяют по формулам теории резания металлов или выбирают по нормативным справочникам. Найденное значение сил резания для надежности зажима заготовки умножают на коэффициент запаса  $K=1,4$  при чистовой обработке и  $K=2,6$  при черновой обработке. При любой операции расположение заготовки на станке относительно режущего инструмента определяется выбранным способом обработки. Тем же определяется и направление силы резания, действующей на заготовку.

При конструировании приспособления посредством выбора метода установки заготовки можно предусмотреть различное расположение его установочных элементов относительно заготовки и направления силы резания. На рис. 8.6 показаны два варианта взаимодействия на заготовку сил резания, сил зажимов и их моментов.

Вариант 1. На заготовку, зажатую в трехкулачковом патроне станка (рис. 8.6, а) действуют силы резания  $P_Z$  и  $P_x$ .

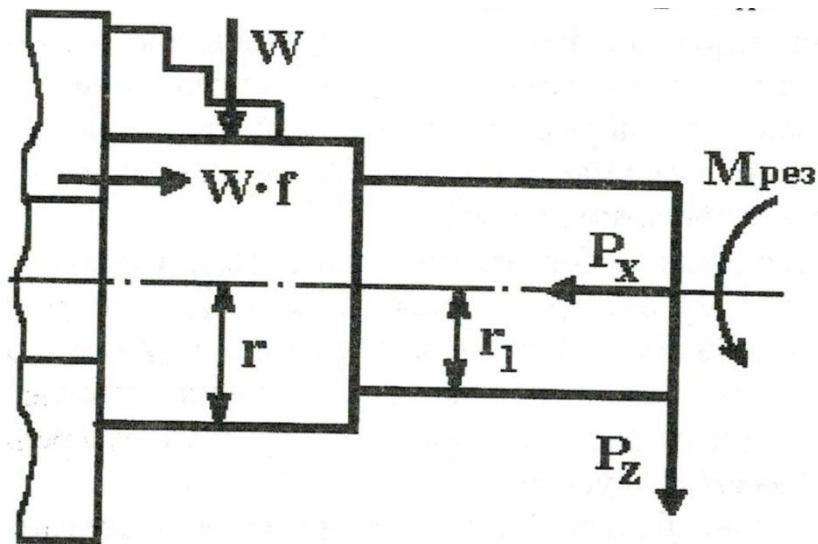


Рис. 8.6,а Схема сил резания при точении.

Усилие зажима заготовки одним кулачком -  $W$ , тремя кулачками -  $3W$ . Определим зависимость величины усилия зажима  $W$  от сил резания.

Сила резания  $P_z$  создаст момент резания  $M_{рез}$  ( $M_{рез} = P_z \cdot r_1$ ), который стремится повернуть заготовку вокруг ее оси. Усилие зажима заготовки тремя кулачками должно превышать величину момента резания.

Сжимающие заготовку кулачки создают силы трения между кулачком и поверхностью заготовки -  $W \cdot f$  ( $f$  - коэффициент трения между поверхностями заготовки и кулачков, величина которого зависит от их вида). Данная сила трения создаст момент сопротивления проворачивания заготовки в процессе резания:

$$M_{сопр} = 3W \cdot f \cdot r \quad (8.1)$$

Введя коэффициент запаса  $K$ , можно записать:

$$3W \cdot f \cdot r = K \cdot P_z \cdot r_1 \quad (8.2)$$

Откуда:

$$W = K \cdot P_z \cdot r_1 / 3 \cdot f \cdot r \quad (8.3)$$

Величину  $W$  проверяют на возможность продольного сдвига заготовки силой  $P_x$ :

$$3W \cdot f \geq K \cdot P_x \quad \text{или} \quad W \geq K \cdot P_x / 3 \cdot f \quad (8.4)$$

Вариант 2. При обработки заготовки встречным фрезерованием на заготовку действуют силы резания  $P_1$  и  $P_2$  в направлении, указанном на рис. 8.6, б. Вели-

чина силы зажима определяется при приравнении суммы моментов всех сил относительно точки О равной нулю. так как заготовка не должна перемещаться во время обработки. В точке контакта зажима с поверхностью заготовки при попытке отрыва заготовки от опор под действием силы  $P_1$  возникает сила трения  $F$  ( $F = W \cdot f$ ).

Составим уравнение суммы моментов всех сил относительно точки О и приравняем это уравнение нулю:

$$W \cdot a + W \cdot f \cdot c - P_2 \cdot k - P_1 \cdot c = 0 \quad (8.5)$$

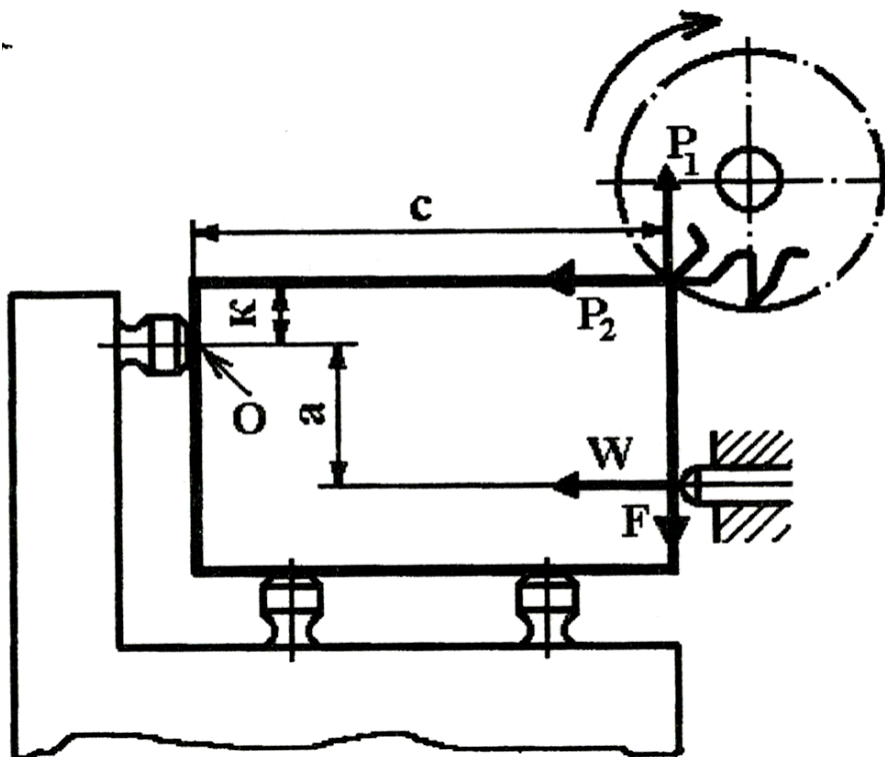


Рис. 8.6, б Схема сил резания при фрезеровании.

отсюда: 
$$W = \frac{(K \cdot (P_2 \cdot k + P_1 \cdot c))}{(a + f \cdot c)} \quad (8.7)$$

При расчетах коэффициент трения принимается в следующих пределах:

$f = 0,16 \dots 0,18$  - при контакте с гладкой плоской поверхностью;

$f = 0,18 \dots 0,30$  - при контакте по линии и со сферой;

$f = 0,50 \dots 0,80$  - при контакте с рифлеными (насеченными) поверхностями.

В зависимости от конструкции зажимных устройств различают резьбовые зажимы, прихваты, клиновые, эксцентриковые кулачковые и цанговые зажимы.



Силы зажима должны быть направлены на неподвижные опоры и действовать над ними, а сила, необходимая для закрепления заготовки, должна быть минимальной.

Зажимные устройства по принципу действия делятся на ручные, механизированные и автоматизированные. Ручные зажимы (винтовые, клиновые, эксцентриковые) применяют в приспособлениях, предназначенных для единичного и мелкосерийного производства.

Механизированные и автоматизированные зажимные устройства применяют в приспособлениях, используемых в серийном и массовом производстве. В зависимости от силового привода зажимные устройства делятся на механические, пневматические, гидравлические, электрические, магнитные, вакуумные и др.

#### Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Что называется приспособлением?
2. Перечислите основные функции приспособления.
3. По каким признакам принята классификация приспособлений?
4. Назовите область применения универсальных наладочных приспособлений.
5. Перечислите основные элементы приспособлений.
6. Назовите виды оправок для обработки втулок.
7. Дайте перечень основных видов зажимных устройств.
8. По каким формулам определяют величину сил резания и их моментов?
9. Представьте схему зажимного устройства приспособлений.
10. Какие силы резания действуют при обработке заготовки на металлорежущем станке?

## ГЛАВА 9

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВАЛОВ

#### 9. 1. Характеристика валов

Детали класса "круглые стержни" подразделяются на валы, оси, пальцы, штоки. Основные представители данного класса - валы. Конструктивно валы различаются на гладкие, ступенчатые, коленчатые, распределительные (кулачковые), шлицевые валы и зубчатые колеса. Валы могут быть сплошные или полые. Наибольшее распространение в транспортных и технологических машинах получили ступенчатые, шлицевые валы и зубчатые колеса. По размерам валы подразделяются на малые с наружным диаметром до 30 мм и длиной до 100 мм, средних размеров - диаметром до 300 мм и длиной до 1000 мм и больших размеров - диаметром более 300 мм и длиной свыше 1000 мм. Различают валы высокой жесткости ( $LfD < 2...4$ ), средней жесткости ( $9 >L/D > 4$ ) и низкой жесткости ( $LfD > 10$ ), где L - длина вала; D - диаметр вала.

#### 9. 2. Технологические задачи изготовления валов

Технологические задачи при изготовлении валов формулируются, исходя из требований получения:

- заданной точности размеров и формы обрабатываемых поверхностей;
- точности взаимного расположения поверхностей и осей;
- качества поверхностного слоя, а также в зависимости от технологичности заготовки.

Как правило, точными поверхностями валов являются его опорные шейки и поверхности под посадки с сопрягаемыми деталями. Обычно они выполняются по 6...7 квалитетам. Размеры с отклонениями выполняются по 14 квалитету.

*Точность формы* (нецилиндричность, некруглость, отклонение продольного профиля) регламентируется в основном для опорных шеек под подшипники качения или скольжения.

Отклонения от круглости и продольного профиля не должны превышать 0,25...0,5 допусков на диаметр шейки в зависимости от типа и класса точности

подшипника качения и минимально допустимого зазора для подшипника скольжения.

*Точность взаимного расположения поверхностей* для большинства валов определяется соосностью рабочих поверхностей, а также перпендикулярностью рабочих торцев базовым поверхностям. Как правило, эти величины выбираются по V...VI I степеням точности.

*Качество поверхностного слоя* базовых и рабочих поверхностей валов обеспечивается:

1) шероховатостью в пределах 3,2...0,4 мкм по Ra. неответственные поверхности обрабатываются с шероховатостью 12,5...6,3 мкм;

2) твердостью поверхностных слоев. Если значение твердости не превышает 200...230 НВ, то заготовка термически не обрабатывается.

В некоторых случаях для заготовок малой твердости осуществляется процесс нормализации. Для повышения износостойкости рабочие поверхности валов подвергают термообработке, технология которой может быть весьма разнообразной в зависимости от конструктивного назначения валов. Как правило, твердость закаленных поверхностей валов достигает 55... 60 НРСэ.

*К технологичности заготовок и валов* предъявляются ряд требований, из которых основными являются:

- изготовленный вал должен иметь центровые отверстия, что упрощает его контроль и ремонт;

- гладкие валы небольших диаметров и длин целесообразно изготавливать из калиброванного проката;

- ступенчатые валы должны иметь небольшие перепады диаметров;

- длины ступеней перепадов желательно иметь одинаковыми или кратными длине короткой ступени, если вал будет обрабатываться на многолезцовых станках;

- при проектировании валов с шлицевыми и резьбовыми участками следует предусматривать возможность свободного выхода режущего инструмента, для

чего диаметр вала, прилегающий к этим участкам должен выполняться меньше внутреннего диаметра шлицев и впадины резьбы.

### **9. 3. Материал валов**

Валы изготавливаются из конструкционных, низколегированных и легированных сталей марок, например, 35, 40, 45, 20X, 40X, 50Г и др. Основные требования к материалам валов:

- высокая прочность;
- повышенная износостойкость;
- способность подвергаться термообработке;
- хорошая обрабатываемость при механической обработке.

Для валов, предназначенных для передачи крутящего момента, применяются термообработываемые стали, стали, подвергающиеся цементации или нитроцементации с последующей термической обработкой до твердости 50...60 НКСэ. Для менее нагруженных валов чаще применяются более дешевые марки сталей (сталь 20X, 40X и др.) с последующей местной закалкой ТВЧ шеек валов.

Шлицевые валы для повышения их долговечности изготавливают из высоколегированных сталей, например, 18ХГТ или 20ХНЗА, которые обеспечивают необходимую твердость (56...60 НКСэ), ударную вязкость и износостойкость.

Коленчатые и распределительные валы изготавливаются из конструкционных сталей марок 40, 45, легированных сталей - 42ХМФА, 18ХГТ, а также из специальных высокопрочных чугунов со сфероидальным графитом - ВЧ45, ВЧ50.

### **9. 4. Способы получения заготовок для валов**

Трудоемкость и производительность, а в итоге себестоимость процесса изготовления валов и их качество во многом определяются методом получения заготовок. Вид заготовки зависит от конструкции, материала и размеров изготавливаемого вала.

Для гладких валов, ступенчатых валов с небольшим числом ступеней и малым перепадами диаметров (до 5 мм) заготовки получают из горячекатаного или холодноотянутого проката.

Заготовки сложной конфигурации и с большой разницей между диаметрами ступеней получают:

- единичном и мелкосерийном производстве свободной ковкой на гидравлических прессах или пневматических молотах, ротационной ковкой на радиально-ковочных машинах и горячей штамповкой в открытых штампах (облойная штамповка);

- в серийном и массовом производстве штамповкой в подкладных штампах для повышения точности размеров заготовки на горизонтально-ковочных машинах (рис. 9,1 а, б).

Ступенчатые валы сложной формы изготавливают поперечно-винтовой прокаткой на трехвалковых станах (рис. 9,1 в, г).

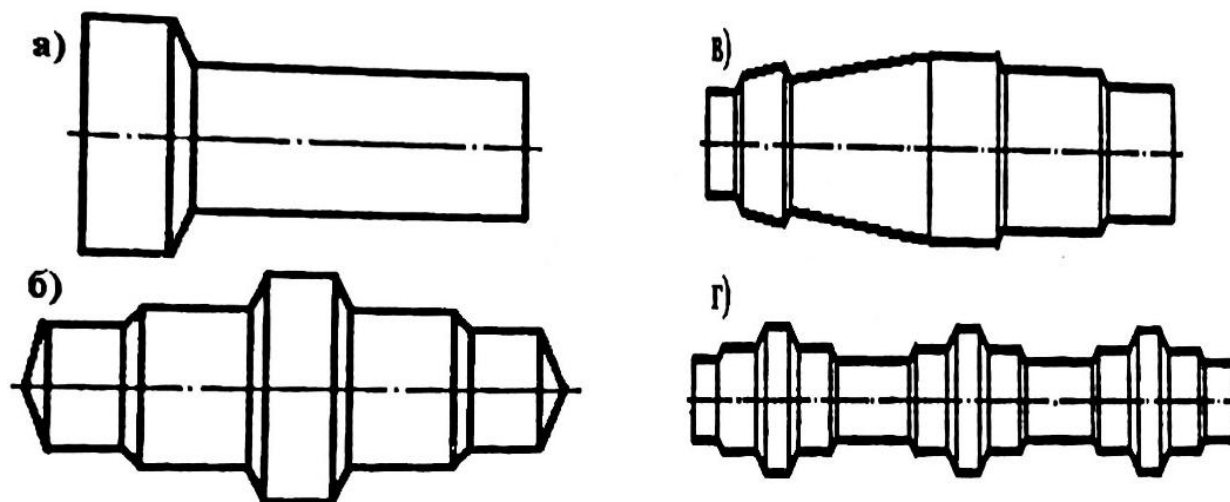


Рис. 9.1 Примеры получения заготовок давлением.

Литые заготовки получают различными способами литья, среди которых наибольшее применение в земляные и оболочковые формы и в металлические кокили. Выбор наиболее рационального способа получения заготовки в каждом отдельном случае определяется с учетом технико-экономической целесообразности и технологической возможности предприятия. Для сокращения механической обработки стремятся выбрать метод получения заготовки с коэффициентом использования металла от 0,7 и выше (отношение массы детали к массе металла, использованного для получения ее заготовки).

## 9. 5. Предварительная обработка заготовок

Предварительная обработка заготовок заключается в придании им такого вида и состояния, при которых возможна обработка их на металлорежущих станках. Предварительная обработка проката состоит в правке и разрезании на штучные заготовки. Правку проводят в горячем или холодном состоянии.

Правка в горячем состоянии производится на прессах. Для правки коротких (до 200 мм) гладких заготовок применяют накатные станки с гладкими плашками. Точность правки достигает 0,05... 0,1 мм/м. Следует отметить, что внутренние напряжения в детали, возникшие при правке, могут привести к короблению детали при эксплуатации. Поэтому после правки производят термическую обработку (улучшение, нормализация).

Резка может быть проведена различными способами на различном оборудовании с соблюдением следующих условий. Процесс должен быть производителен, обеспечивать требуемую точность по дойне заготовки, перпендикулярность торцов вала, необходимое качество поверхности торцов, включая заданную шероховатость, а также, минимальные потери металла. Наибольшей мере указанным требованиям отвечают отрезные круглопильные станки, применяемые в серийном и массовом производстве. В качестве режущего инструмента в них применяются диски, оснащенные сегментами из быстрорежущей стали.

К высокопроизводительным методам резки относятся рубка на прессах и резка пресс-ножницами. Но существенным недостатком этих методов, ограничивающим их применение, является смятие концов заготовок, образование трещин, сколов. В сравнении с перечисленными другие методы резки применяются реже из-за больших допусков на резку. К ним относятся резка на токарно-отрезных станках отрезными резцами (точность резки 0,5...0,8 мм), на фрезерных станках прорезными фрезами (точность резки 2...4 мм), абразивная резка (точность резки 0,3... 0,7 мм).

Предварительная обработка поковок, полученных штамповочными операциями состоит в обрезке облоя специальными штампами на обрезных кривошипных и реже гидравлических прессах. Процесс проводят в холодном и в горячем состоянии.

Предпочтительным является горячий способ обрезки, так как в этом случае выше производительность, лучше качество среза, высокая стойкость штампов. Обрезку облоя в холодном состоянии производят у мелких и средних поковках из углеродистой стали с содержанием углерода до 0,4% и поковок из низколегированной стали.

Горячую обрезку производят у средних и крупных по массе поковок из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей, имеющих недостаточную пластичность в холодном состоянии и относительно большую толщину облоя. Поковки в процессе штамповки подвергаются короблению. Искривление поковок происходит и при обрезке облоя, а также при неправильном режиме охлаждения после штамповки. Для исправления погрешностей поковки производят ее правку, если величина искривления превышает допуск на размеры поковки. Поковки правят в горячем и холодном состояниях. Горячую правку выполняют, как правило, на обрезном прессе, совмещая или проводя последовательно процессы обрезки и правки.

Холодной правке подвергают в основном мелкие и средние по массе поковки, проводя правку после предварительной термической обработки и очистки поковок от окалины. Правку производят на штамповочных молотах или винтовых прессах.

Для правки крупных поковок применяют гидравлические правильные прессы и правку производят не в штампах, а на призмах. Для повышения точности формы и размеров поковки и снижения шероховатости применяют процесс калибрования.

Калибровка получила распространение главным образом в крупносерийном и массовом производстве. Отличие калибровки от правки заключается в том, что при калибровке меняются размеры поковки, а при правке исправляются иска-

жения поковки, например, выпрямляется изогнутая ось при сохранении основных размеров поковки.

Последней операцией предварительной обработки поковок перед механической обработкой является операция очистки. После штамповки и термической обработки на поверхности поковок остается окалина. Очистка поковок от окалины необходима для повышения стойкости режущего инструмента, а также для выявления дефектов на поверхности поковок - волосовин, трещин и т.п.

Наиболее распространены- дробеметная очистка (струей металлической дроби) и галтовка (очистка во вращающемся барабане вместе с металлическими звездочками и абразивным боем) для стальных поковок и травление для поковок из цветных металлов и сплавов.

Предварительная обработка отливок состоит в удалении литников и прибылей, очистке отливок от пригоревшей облицовочной земли и окалины, термической обработке для улучшения обрабатываемости и снятия внутренних напряжений.

Заготовки валов контролируют по размерам и твердости. Для особо ответственных деталей предусматривается индивидуальная приемка заготовок по механическим свойствам и химическому составу материала.

#### **9. 6. Технологический процесс обработки валов**

Типовая маршрутная технология обработки гладких и ступенчатых валов включает следующие переходы:

- 1) подрезка обоих торцов заготовки поочередно или одновременно;
- 2) центрирование заготовки с двух сторон;
- 3) черновое точение поверхностей;
- 4) чистовое точение поверхностей;
- 5) фрезерование шпоночных пазов и (или) шлицев;
- 6) сверление отверстий;
- 7) нарезание резьбы;
- 8) предварительное шлифование шеек;

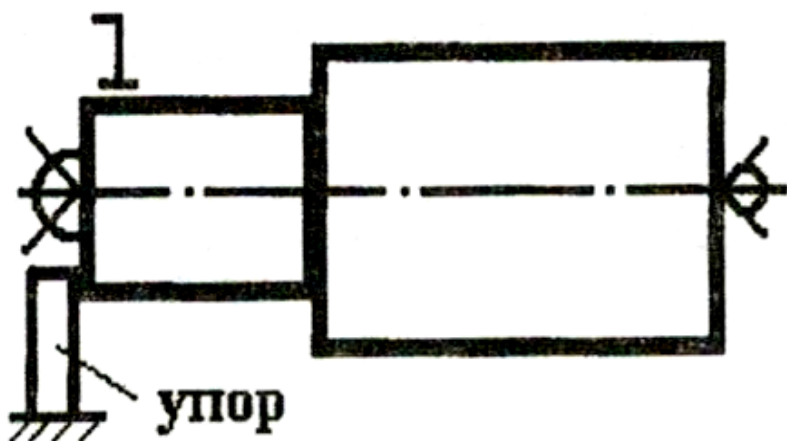


- 9) термическая обработка;
- 10) центрошлифовальная;
- 11) чистовое шлифование шеек;
- 12) шлицешлифование;
- 13) мойка;
- 14) контроль размеров;
- 15) нанесение антикоррозионного покрытия.

В зависимости от конструктивной особенности вала и технических требований к нему маршрут обработки может быть дополнен дополнительными переходами: точение под люнет, промежуточная правка, промежуточная термообработка, полирование и т.п.

### 9. 7. Основные схемы базирования валов

Основными конструкторскими базами большинства валов являются поверхности опорных шеек. Однако использовать их в качестве технологических баз для обработки наружных поверхностей на всех операциях затруднительно, особенно при условии сохранения единства баз. Поэтому при большинстве операций за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий с обоих торцов заготовки, что позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности вала при установке его в центрах. Одновременно выполняется условие постоянства баз. При этом может возникать погрешность базирования, равная величине несовпадения оси центровых отверстий и общей



оси опорных шеек при выдерживании длин ступеней вала от его торца. Для исключения данной погрешности базирования необходимо в качестве опорной технологической базы использовать торец заготовки,

упирающийся в упор (рис. 9.2),

Рис. 9.2. Схема базирования вала.

а заготовку устанавливают на плавающий передний центр. Передача крутящего момента при установке вала в центрах осуществляется с помощью поводкового патрона (ГОСТ 2571) или хомутика (ГОСТ 2578).

### 9.8. Подрезка торцов и сверление центровых отверстий

Данные переходы предназначены для подготовки технологических баз. Торцы и центровочные отверстия для большинства валов являются технологическими базами.

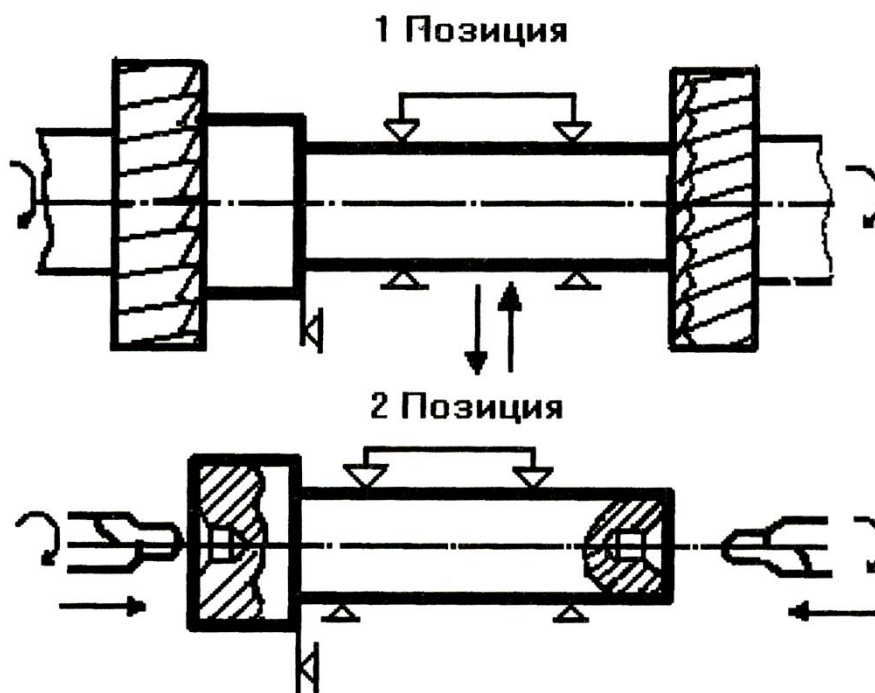


Рис. 9.3 Схема подрезки торцов вала в серийном производстве.

В единичном производстве подрезку торцов и сверление центровых отверстий производят на универсальных токарных станках последовательно за два установка с установкой заготовки по наружному диаметру в патроне. Режущий инструмент - подрезной резец и комбинированное (центровочное) сверло.

В серийном производстве подрезку торцов выполняют отдельно на фрезерно-центровальных полуавтоматах последовательного действия с установкой заготовки по наружному диаметру в призма и базированием в осевом направлении по упору (рис 9.3).

В массовом производстве применяют фрезерно-центровальные станки полуавтоматы барабанного типа, которые одновременно фрезеруют и центруют две

заготовки. Преимущество этих полуавтоматов - большая производительность и высокая точность обработки торцов. Недостаток - сложность наладки.

Форму и размеры центровых отверстий назначают в соответствии с их технологическими функциями по ГОСТ 14034.

### **9.9. Обработка наружных цилиндрических поверхностей вала**

Обработка наружных цилиндрических поверхностей вала подразделяется на токарную и шлифовальную операции. Для валов, поверхности которых требуют малую шероховатость, добавляют отделочную операцию. Если же требуется повысить качество поверхностного слоя поверхностей вала, то предусматриваются операции упрочнения (химико-термические, диффузионная металлизация, металлизация поверхностей, поверхностно-пластическое деформирование).

Токарная операция может быть:

- а) черновая с точностью обработки размеров по 13... 14 квалитетам и с шероховатостью поверхности Ra до 12,5 мкм;
- б) получистовая - II... 12 квалитет точности и с шероховатостью до 3,2 мкм;
- в) чистовая - 8... 10 квалитет точности и с шероховатостью Ra до 0,8 мкм.

Шлифовальная операция подразделяется на:

- а) предварительную - с точностью обработки размеров по 8... 9 квалитетам и с шероховатостью 6,3... 0,8 мкм по Ra;
- б) чистовую - 6... 7 квалитет точности и с шероховатостью до 0,4 мкм;
- в) тонкую - 5... 6 квалитет точности и с шероховатостью Ra до 0,1 мкм.

Отделочная обработка включает в себя операции притирки, суперфиниширование и полирование.

### **9.10. Токарная операция**

В зависимости от типа производства токарную операцию выполняют:

- в единичном производстве на универсальных токарно-винторезных или токарно-револьверных станках;
- в мелкосерийном производстве на универсальных станках с гидросуппортом и станках с ПУ;

- в серийном производстве на копировальных станках, горизонтальных многорезцовых и вертикальных одношпиндельных полуавтоматах;

- в крупносерийном и массовом производстве на многошпиндельных многорезцовых полуавтоматах.

На универсальных токарно-винторезных станках обработка валов ведется однолезвийным инструментом (резцами), последовательно применяя тот или иной тип резца. При обработке нежестких валов используют подвижные или неподвижные люнеты.

На черновых операциях повышение производительности обработки добиваются за счет максимально возможных значений глубины резания и подачи резца.

На чистовых операциях подача ограничивается заданной шероховатостью, поэтому сокращение основного времени возможно за счет увеличения скорости резания.

Изготовление небольших валов (валиков) целесообразно (повышенная точность обработки и высокая производительность) выполнять на токарно-револьверных станках, которые осуществляют разнообразную совмещенную многопереходную обработку заготовки вместо отдельного исполнения тех же переходов на универсальных токарных станках.

Револьверная головка с горизонтальной осью вращения и с шестью гнездами для закрепления инструментов, совершает продольное поступательно-возвратное движение, а поперечный суппорт с передней 4-х резцовой головкой и задней державкой может перемещаться в продольном и поперечном направлениях.

На токарно-револьверных станках обрабатываются детали типа вал пруткового материала или из штучных заготовок. При одностороннем расположении ступеней и длине вала до 120 мм все необходимые операции и переходы ведут до отрезки детали.

Для повышения производительности обработки валов путем совмещения переходов операции наружного точения применяют многорезцовое точение. Если ступенчатый вал изготавливают из проката, то применяют метод деления при-

пуска ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ) между резцами, число которых равно числу ступеней обрабатываемого вала (рис. 9,4,а). При точении наружной поверхности заготовки из поковки, где каждая ступень вала обрабатывается одним резцом (рис. 9,4 б), приводит к тому, что рабочий ход продольного суппорта определяется длиной наибольшей ступени (резцом 1).

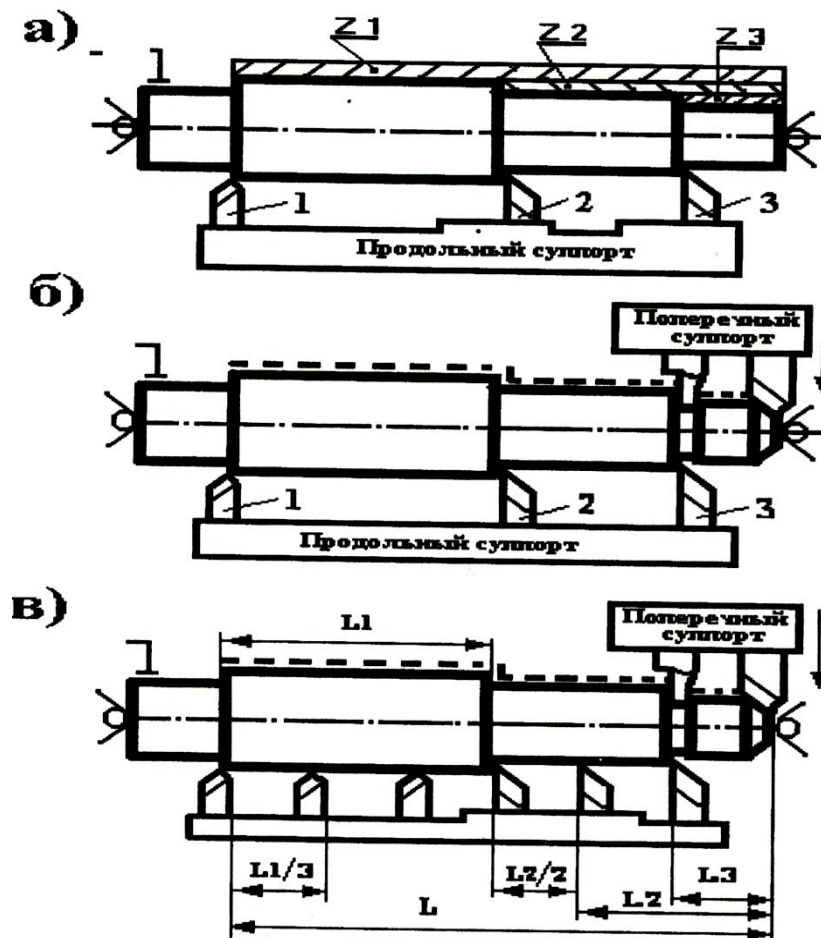


Рис. 9.4 Точение ступенчатого вала.

Резцы 2 и 3 в начале движения резца 1 совершают холостой пробег. При наладке станка по наименьшей ступени  $L_3$  (рис. 9,4 в) рабочий ход суппорта будет определяться длиной этой ступени. Тогда для точения других ступеней устанавливают по несколько резцов, при чем число резцов зависит от соотношения длин ступеней  $L_1 / L_3$  и  $L_2 / L_3$ . Второй вариант более производителен, но он применим только для черновых операций так как на обрабатываемых ступенях несколькими резцами образуются уступы из-за неточности установки резцов на размер и разной интенсивности их изнашивания.

Обработка валов на многорезцовых станках применяется в серийном производстве. Токарные многорезцовые станки работают в полуавтоматическом цикле. Они имеют два суппорта с горизонтальной и вертикальной компоновками.

Горизонтальный суппорт совершает продольную подачу, а вертикальный суппорт поперечную. Обычно на многорезцовых станках обрабатывают заготовки диаметром до 500 мм и длиной до 1500 мм.

Схемы наладок для обработки ступенчатых валов на многорезцовом станке приведены на рис. 9.5.

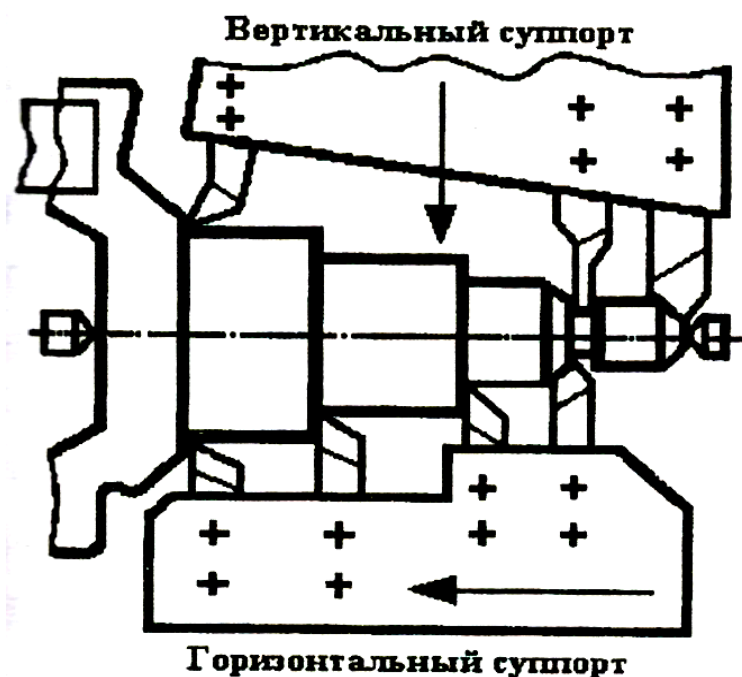


Рис. 9.5 Обработка валов на многорезцовых станках.

Настройка резцов производится так, чтобы обработка всех участков вала заканчивалась одновременно. Точность обработки на многорезцовых станках обеспечивается в пределах 11... 13 квалитета.

Основное время рассчитывают для резца, который производит обработку наиболее длинной поверхности. В серийном

производстве широко используют и одно шпиндельные гидрокопи-

ровальные полуавтоматы с двумя портами (горизонтальным и вертикальным).

Горизонтальный суппорт совершает продольную подачу, а вертикальный поперечную. Обработка валов на этих станках имеет ряд преимуществ перед многорезцовым точением:

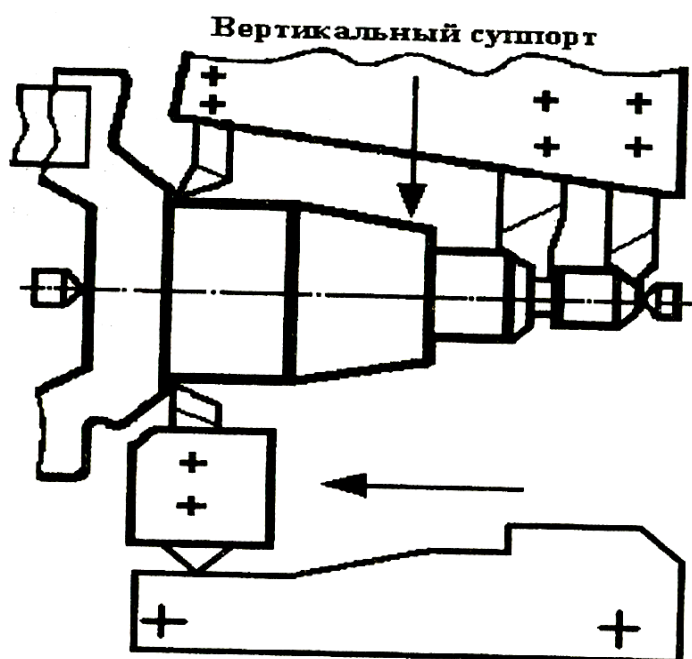
- время для наладки гидрокопировального полуавтомата в 2...3 раза меньше соответствующей наладки многорезцового станка;
- обеспечивает точность размеров на 2...3 квалитета точнее (9... 10 квалитет);
- повышается качество обработанной поверхности;

- обработка ведется на более высоких скоростях резания, так как при много-резцовом точении скорость резания занижается с целью повышения стойкости резцов;

- при одном установе можно вести черновую и чистовую обработку;

- так как точение поверхности вала выполняется одним резцом, то деформации вала невелики, что позволяет производить обработку валов малой жесткости.

Как было отмечено выше, обработка ступеней вала по копиру производится одним резцом. Поэтому на обработанной поверхности отсутствуют уступы, характерные при многорезцовом точении. Для обеспечения высокой точности



обработки поперечный (вертикальный) суппорт вступает в работу после окончания работы продольного копирующего суппорта. На рисунке 9.6 показана наладка гидроконтролируемого полуавтомата для обработки поворотного кулака. На гидроконтролируемых станках можно запрограммировать бесступенчатое изменение частоты

Рис. 9.6 Обработка вала на вращения шпинделя, благодаря чему

гидроконтролируемом станке. сохраняется постоянство скорости

резания при обработке ступеней разного диаметра. Они хорошо приспособлены для встраивания в автоматические линии.

В крупносерийном и массовом производстве при производстве валов диаметром до 100 мм и длиной до 160мм применяются многошпиндельные (четырёх-, шести- и восьмишпиндельные) горизонтальные автоматы. На рис. 9.7 показана наладка шестишпиндельного автомата для обработки шарового пальца. Шейку наименьшего диаметра получают резцом, установленным в

люнетной державке (позиция 1). Фасонную поверхность обрабатывают на 4-х

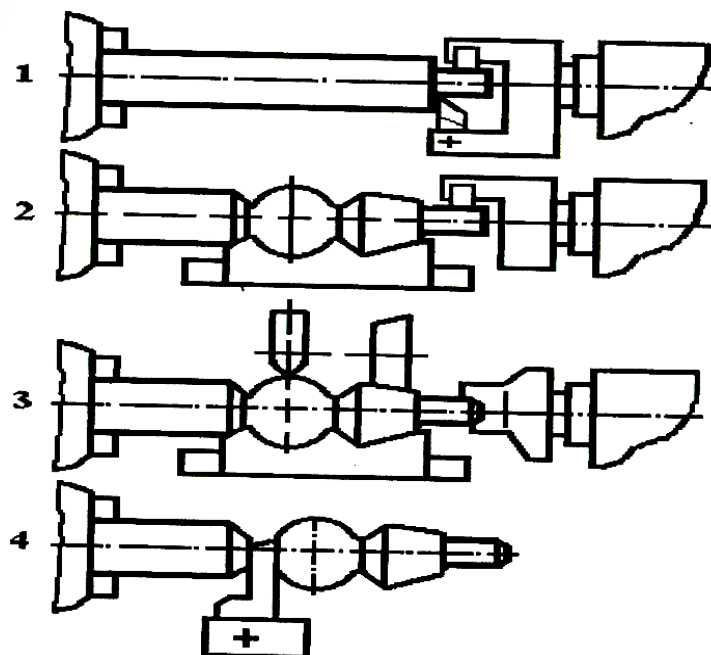


Рис. 9.7 Пример обработки шарового пальца на 6-ти шпиндельном автомате. позициях с поддерживающими роликами (на рисунке под индексом 2 показана окончательная 4-я позиция).

Чистовую обработку ведут брешущим резцом, установленным в качающейся державке (3 - пятая позиция) и отрезка детали (4) - шестая позиция.

### 9.11. Операция шлифования

Шлифование шеек валов проводят на круглошлифовальных станках методом продольной подачи (рис. 9.8, а) или врезанием (поперечным движением подачи, рис. 9.8, б), а так же на бесцентрово-шлифовальных полуавтоматах (рис. 9.8, в).

Шейки валов шлифуют в две операции: предварительное и чистовое шлифование. После чистового шлифования точность размера б... 7 квалитет, а шероховатость до 0,4 мкм.

Шлифование с продольной подачей (рис. 9.8, а) более универсальный, чем метод врезного шлифования (9.8, б). Он не требует специальной наладки, одним шлифовальным кругом можно обрабатывать поверхности разной длины. При продольном шлифовании абразивный круг изнашивается более равномерно и минимально влияет на отклонение от цилиндричности шлифуемой поверхности.



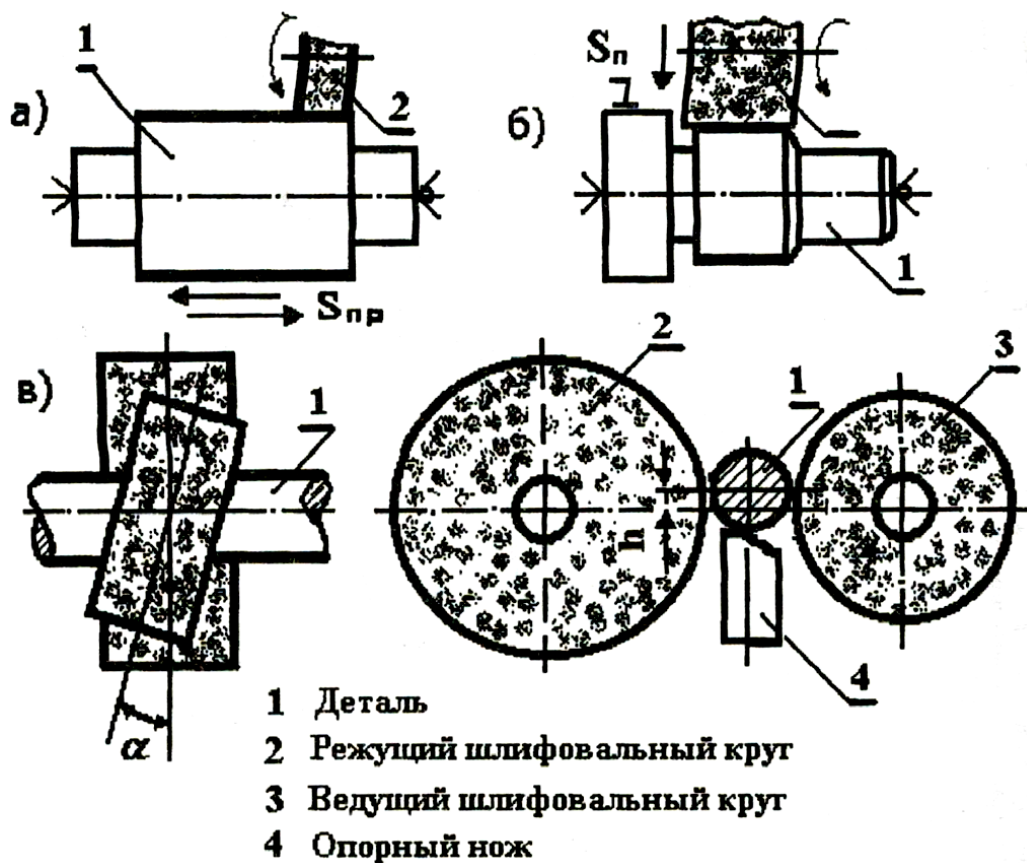


Рис. 9.8 Виды шлифовальных операции.

Как правило, при данном способе шлифования применяют более мягкие круги, работающие в режиме самозатачивания, которые обладают повышенной режущей способностью и не требуют частой правки. Применяют этот метод при обработке поверхности длиной более 80 мм.

При врезном шлифовании (9.8, б) одновременно обрабатывается вся шлифуемая поверхность. Данная операция применяется при обработке коротких шеек, поверхностей, ограниченных буртиками, а также при одновременном шлифовании шейки и торца. Этот метод более производительный. Для его осуществления применяют станки повышенной мощности и жесткости. Износ круга непосредственно влияет на точность шлифуемой поверхности. Поэтому используют круги повышенной твердости, но они требуют более частой принудительной правки.

В крупносерийном и массовом производстве применяется метод совмещенного шлифования одновременно несколько шеек и прилегающих к ним торцов. Данная операция выполняется на торцекруглошлифовальных станках- Разно-

видностью этого метода является шлифование профильными шлифовальными кругами (рис. 9.9).

При обработке на круглошлифовальных и торцекруглошлифовальных станках заготовки устанавливаются в центрах, патроне, цанге или в специальном приспособлении. Если вал шлифуется в центрах и после термообработки, то центровые отверстия вала, которые являются технологическими базами, подвергаются исправлению путем шлифования конусным кругом на центрошлифовальном станке (рис 9.10).

Как уже было отмечено в массовом производстве обработке наружных поверхностей валов бесцентровое шлифование (рис. 9.11). Шлифовальный круг (2) вращается со скоростью 30...65 м/с, ведущий круг (3) - со скоростью 40 м/мин. Так как коэффициент трения между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между заготовкой и шлифовальным кругом, то ведущий круг сообщает вращение заготовке со скоростью  $V_i$ . Благодаря скосу установочного ножа (4), направленного в сторону ведущего круга,

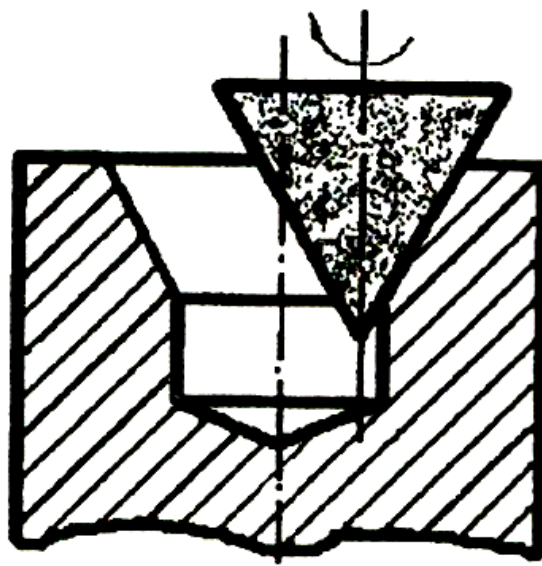
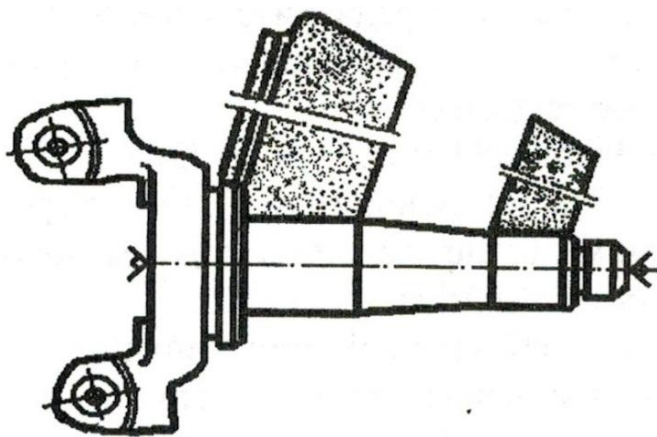
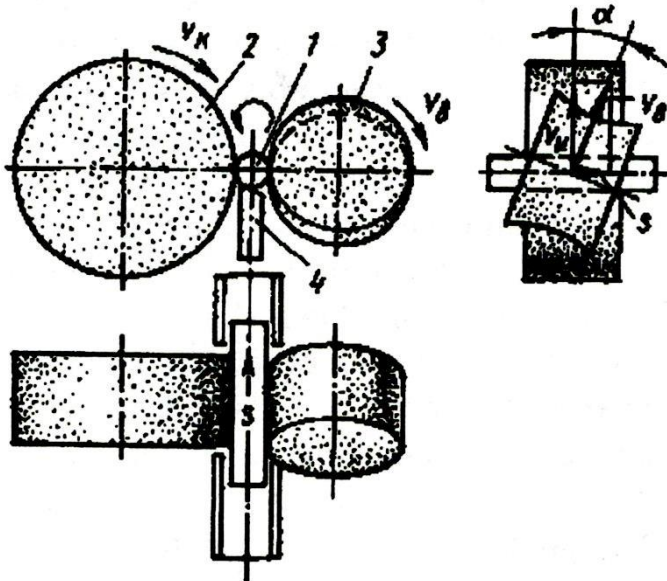


Рис. 9.9. Шлифование профильными кругами. Рис. 9.10 Исправление центра.

заготовка прижимается к этому кругу. Чтобы обеспечить линейный контакт ведущего круга с обрабатываемой цилиндрической поверхностью заготовки, ведущему кругу в процессе правки придают форму гиперboloида.

Жесткость технологической системы при бесцентровом шлифовании в 1,5... 2 раза выше жесткости системы при круглом шлифовании с продольной подачей, что позволяет применять повышенные режимы резания и облегчается

задача обработки маложестких валов. Бесцентровое шлифование обеспечивает обработку валов с точностью 5...6 качества, а шероховатость достигается до 3,2 мкм. При тонком шлифовании шероховатость до 0,08 мкм (по Ra).



Применяются два метода бесцентрового шлифования: проходное и врезное. Скорость продольной подачи  $V_s$  заготовки достигается за счет поворота оси ведущего круга на угол  $\alpha$ . Значение угла  $\alpha$  составляет 3...5 градусов при предварительной обработке и 1...2 при чистовом шлифовании. Величина скорости продольной подачи

Рис. 9.11 Схема бесцентрового шлифования.  $V_s$  определяется как:

$$V_s = V_B \cdot \sin \alpha \cdot \mu \quad (9.1)$$

где  $\mu$  - коэффициент проскальзывания, 0,95... 0,98.

При шлифовании на проход (проходное) для уменьшения разброса диаметров обрабатываемых поверхностей у заготовок необходимо, чтобы в зоне шлифования по всей ширине кругов обеспечивался их непрерывный поток. В некоторых случаях для уменьшения параметров шероховатости обрабатываемой поверхности применяют наладки, в которых вместо одного шлифовального круга высотой 150...200 мм устанавливают два круга высотой 75...100 мм разной характеристики. Первый круг (крупнозернистый) служит для снятия припуска, второй (мелкозернистый) - для окончательного достижения необходимых точности и параметров шероховатости поверхности.

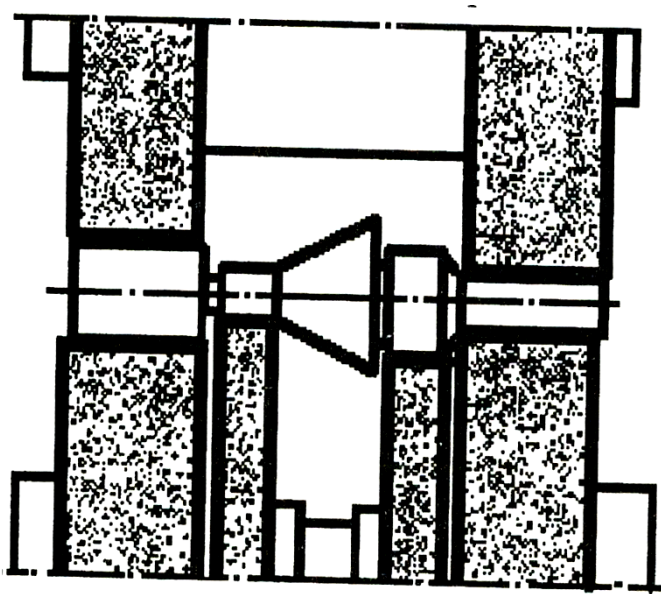
На станках шлифования на проход устанавливаются приборы активного контроля размеров обрабатываемых поверхностей, которые обычно располагаются за зоной шлифования они фиксируют размер уже обработанной поверхности. Так как в условиях поточной обработки" точность размеров определяется настройкой шлифовального круга, и по мере его изнашивания и затупления

размеры обрабатываемых поверхностей увеличиваются, то прибор активного контроля должен автоматически поддерживать заданную наладку.

При достижении границы верхнего допуска на диаметр шлифуемой поверхности измерительный прибор дает команду исполнительным органам механизма поперечной подачи станка на компенсацию износа круга.

При врезном шлифовании ведущий круг сообщает заготовке только вращательное движение. В этом случае ведущему кругу придается при правке цилиндрическая форма. Продольное перемещение обрабатываемой заготовки ограничивают жестким упором. Выбранная для соприкосновения с упором торцовая поверхность заготовки должна быть гладкой и не должна иметь биения. Чтобы обеспечить постоянный поджим обрабатываемой заготовки к упору, ведущий круг устанавливается под малым углом ( $\alpha = 0,2 \dots 0,5^\circ$ ).

При многокруговых наладках шпиндели ведущих и шлифовальных кругов ус-



танавливаются параллельно. Обрабатываемая заготовка в процессе шлифования самоустанавливается между кругами. На рис. 9.12 показана наладка станка для шлифования шеек оси поворотной лебедки. Шлифование производится 4-мя режущими и 2-мя ведущими кругами. Многокруговая накладка бесцентрового станка дает большой

9.12 Шлифование многоступенчатого вала. выигрыш в точности взаимного расположения осей шлифуемых ступеней вала и в производительности. Недостаток - длительность наладки (до 10... 12 ч).

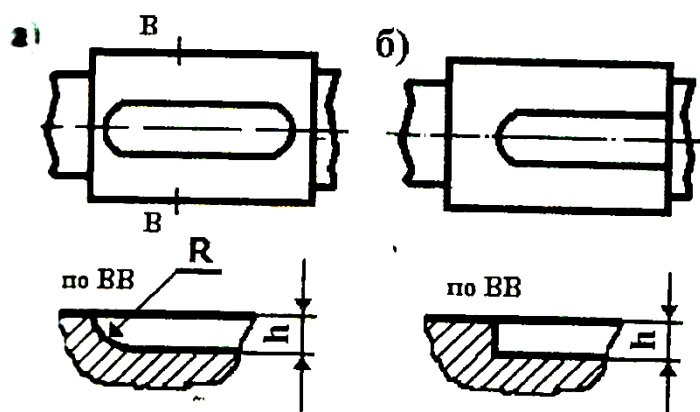
### 9.12. Изготовление шпоночных пазов

В тех конструкциях деталей транспортных и технологических машин, в которых необходимо применение только шпонок (за последние годы, там где это

возможно шпонки заменяются шлицевыми соединениями) наибольшее распространение получили призматические и сегментные шпонки.

Шпоночные пазы для призматических шпонок, как правило, изготавливают закрытыми (а) с двух сторон (глухие) и закрытые (б) с одной стороны (рис. 9.13). Наименее технологическими являются глухие пазы. При изготовлении пазов закрытых с одной стороны предпочтительнее пазы с радиусным выходом. При изготовлении паза необходимо соблюдать требования по точности ширины паза (по 9 качеству), глубины паза с отклонениями  $+0,1$ ,  $\sim +0,2$  или  $+0,3$  мм и длины паза по 11... 12 квалитетам. Кроме того, необходимо обеспечить симметричность расположения паза относительно оси шейки вала, на котором он расположен. Операция "фрезеровать шпоночный паз" выполняется перед шлифованием.

Шпоночные пазы в зависимости от конструкции изготавливаются различными инструментами. Закрытые с одной стороны с радиусным выходом



- дисковой фрезой за один, два рабочих хода. Способ наиболее производителен и обеспечивает необходимую точность ширины паза. Выполняются на горизонтально-фрезерных станках общего типа или специальных.

9.13 Виды шпоночных пазов.

Закрытые с одной стороны с закруглением на конце - концевыми фрезами за один или несколько рабочих ходов. Использование концевой фрезы (мерного инструмента) имеет следующие недостатки:

- большая погрешность обработки ширины паза, зависящая от допуска на размер инструмента и, так как фреза работает в основном своей периферической частью, диаметр после пере заточек уменьшается;

- попадание стружки в канавки инструмента, затрудняющее получение требуемой шероховатости поверхности.

Выполняются на вертикально-фрезерных станках общего типа или специальных. Шпоночные пазы закрытого типа (глухие) фрезеруются двузубой концевой фрезой с торцевыми режущими кромками (часто называют шпоночной фрезой). Для получения по ширине точных пазов применяются специальные шпоночно-фрезерные станки с маятниковой подачей. Фреза (рис. 9.14) врезается на  $b = 0,1 \dots 0,3$  мм и фрезерует паз на всю длину, затем врезается на ту же глубину и фрезерует паз в обратном направлении и т.д. до получения заданной глубины паза. Данный способ получения пазов широко применяется в серийном и массовом производстве, так как обеспечивает размеры паза для полной взаимозаменяемости со шпонками при сборке. Недостатком этого способа является большая затрата времени на изготовление паза, но это окупается, если требуется при сборочных работах взаимозаменяемость со шпонками. Если же допускается пригонка шпонок по

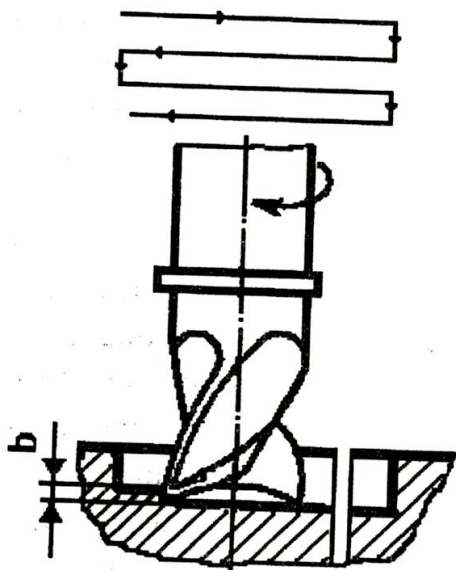


Рис. 9.14 Схема фрезерования  
двузубой фрезой.

канавкам, то фрезеруют пазы концевыми фрезами. Пазы под сегментную шпонку фрезеруются дисковыми фрезами на универсальных горизонтально фрезерных станках.

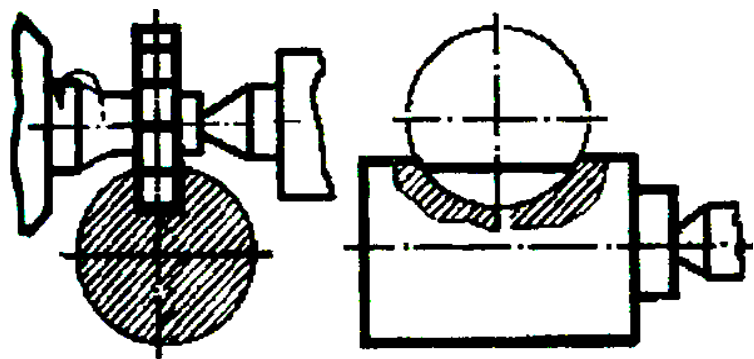


Рис. 9.15 Фрезерование сегментного паза.

Для повышения точности размеров паза при фрезеровании сегментных пазов фрезу поддерживают центром (рис. 9.15). Заготовки при фрезеровании пазов устанавливают в центрах или призмах. Технологическая база - поверхности центровых отверстий или наружные цилиндрические поверхности заготовки.

При установке на наружные цилиндрические поверхности (в призмы) возникает погрешность базирования, связанная с колебаниями диаметров установочных поверхностей заготовок.

### 9.13. Изготовление шлицев на валах

Различают шлицевые соединения прямоугольного, эвольвентного и треугольного профиля. Пока в конструкциях машин чаще используют шлицевые соединения прямоугольного профиля. Эвольвентные шлицы применяются в сильно нагруженных и ответственных передачах, так как прочность таких шлицев выше, благодаря утолщению профиля зуба у основания и увеличенному числу зубьев по окружности. Шлицы треугольного профиля рекомендуются, главным образом, в соединениях с малыми высотами шлиц.

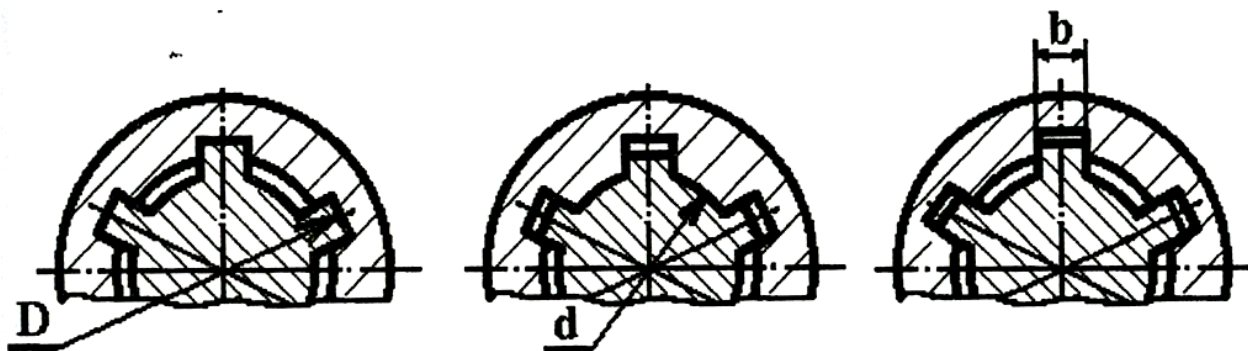


Рис. 9.16 Способы центрирования шлицевого соединения.

Как известно шлицевое соединение центруется в зависимости от посадки и условий эксплуатации этого соединения либо по наружному (D), либо по внутреннему (d) диаметру или по боковым сторонам шлицев (b) (рис. 9.16).

При центрировании по наружному диаметру с высокой степенью точности необходимо выдержать размеры наружного диаметра шлиц вала (D) и ширину шлиц (B). При этом размер внутреннего диаметра шлиц вала выполняется по 14 квалитету. При центрировании по внутреннему диаметру с высокой степенью точности необходимо выдерживать размеры внутреннего диаметра (d) и ширину шлиц (B). Наружный диаметр шлиц вала изготавливают по 12 квалитету. При центрировании по ширине шлица очень точно выполняют только размер ширины шлица (B), а остальные размеры соответственно по 14 и 12 квалитетам.

Технология изготовления шлицев вала зависит от способа центрирования и в необходимости их термической обработки. Шлицы на валу можно получить фрезерованием специальными фрезами на горизонтально- фрезерном станке, имеющие делительные механизмы, фрезерованием методом обкатки шлицевыми червячными фрезами на шлицефрезерном или зуборезном станках, шлицестроганием на специальных станках полуавтоматах, шлиценакатыванием в холодном состоянии на специальных станках. Если шлицевой вал требует термическую обработку в виде улучшения или закалки, то вводится операция шлифования центрирующих размеров. Наиболее точным и производительным процессом изготовления шлиц на валу является фрезерование шлицев методом обкатывания шлицевой червячной фрезой с установкой вала в центрах.

Шлицевая червячная фреза должна иметь "усики", вырезающие канавки у основания шлица. Эти канавки необходимы при шлифовании по боковым сторонам шлица и внутреннему диаметру. Фрезерование шлиц выполняют за два прохода - черновое и чистовое фрезерование.

Чистовое фрезерование производят фрезами высокого класса точности (АА и А). Изготовление шлицев вала при центрировании по наружному диаметру выполняется в такой последовательности:

а) вал не подвергается термообработке: черновое фрезерование чистовое шлифование наружного диаметра - чистовое фрезерование;

б) вал термически обрабатывается: черновое фрезерование – термообработка - чистовое шлифование наружного диаметра и боковых поверхностей шлицев.

Б) Изготовление шлицев вала при центрировании по внутреннему диаметру:

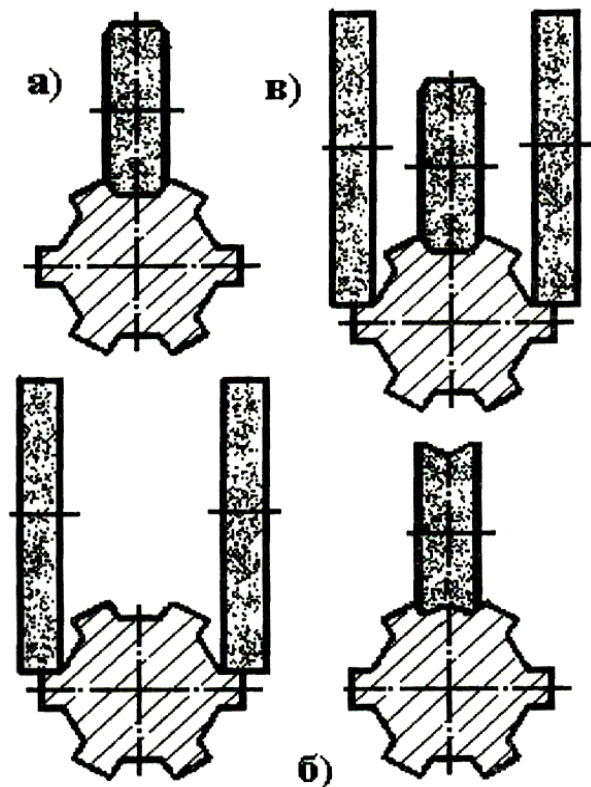
а) вал не подвергается термообработке: черновое и чистовое фрезерование;

б) вал термически обрабатывается: черновое фрезерование - термообработка - чистовое шлифование внутреннего диаметра и поверхностей боковых шлицев.

Шлифование шлицев по наружному диаметру производится на обычных круглошлифовальных станках.



Абразивная обработка внутреннего диаметра шлиц и их боковых поверхностей выполняется на шлицешлифовальных полуавтоматах по схемам приведенным на рис.9.17.



Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (а).

Данная операция характеризуется простотой наладки, точным взаимным расположением обработанных поверхностей.

Недостаток - применение круга одной характеристики для разных условий шлифования впадины и боковых поверхностей, что приводит к неравномерному износу круга по торцу и периферии и частой правке круга.

Однако, несмотря на этот недостаток,

Рис. 9.17 Схема шлифования шлицевого вала. данный способ предпочтителен перед другими. При шлифовании сначала впадины, а затем боковых сторон шлицев (б) износ каждого шлифовального круга меньше, но этот способ менее производителен, хотя шлифование одним профильным кругом дает лучшие результаты по точности получаемых размеров. С целью повышения производительности обработки разработаны станки, на которых шлицы шлифуются одновременно тремя кругами: один шлифует впадину, а два других - боковые поверхности шлицев (в). Положительным в этом методе обработки - возможность применения кругов разных характеристик для обработки впадины и боковой поверхности шлиц.

Недостаток - усложнение наладки, удлинение шпинделя, что может приводить к его вибрации.

Активный контроль позволяет автоматизировать процесс шлицевшлифования. При каждом ходе стола шлифуемый вал I (рис. 9.18) набегаёт на автоскобу 2 и отводит ее в крайнее правое положение. При обратном ходе стола пружина 3 отводит автоскобу (в).

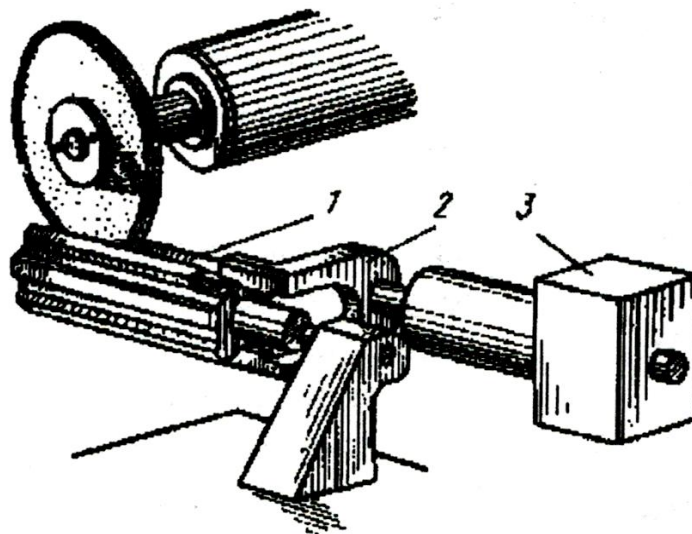


Рис. 9.18 Схема активного контроля

при шлицевшлифовании. шлифуемая поверхность (впадина шлицев) будет иметь заданный размер, автоскоба при очередном касании с валом войдет в шлицы, замкнет электроконтакт и даст команду на окончание обработки.

#### 9.14. Изготовление резьбы

Резьбы на валах могут быть наружные и внутренние, крепежные и ходовые. Основной крепежной резьбой является метрическая резьба треугольного профиля. Ходовые резьбы могут быть с прямоугольным и трапециидальным профилем, однозаходные и многозаходные. Нарезание резьбы на закаливаемых валах выполняются до термической обработки, с последующей после термообработки операцией резьбошлифования. На незакаливаемых валах – после окончательного шлифования, во избежание смятия резьбы при транспортировке с одного рабочего места на другое. Если же по технологии целесообразно вначале резьбонарезная операция, а затем шлифовальная, то используют защитные пластмассовые колпачки.

В единичном и мелкосерийном производстве наружные резьбы изготавливают на токарно-винторезных станках с применением резьбовых резцов и гребенок, обеспечивая 7...8 степень точности. Высокие требования, предъявляемые к заточке резцов и сохранению правильного профиля, привели к созданию и внедрению в производство фасонных резьбовых резцов - призматиче-

ческих и круглых. У этих резцов размеры элементов профиля резьбы выдерживаются более точно, чем у обычных, так как у них затачивается только передняя поверхность, сохраняя неизменной форму и углы задних поверхностей, полученных при изготовлении фасонного резца.

Достоинством способа обработки резьбовым резцом является нарезание резьбы большого диаметра, нестандартного профиля или шага.

Недостаток - малопроизводительный процесс.

Гребенки, подобно резцам, бывают плоские, призматические и круглые и отличаются от резцов тем, что режут одновременно несколькими режущими кромками. Концы зубьев гребенки стачиваются от одного края к другому, так что глубина резания постепенно увеличивается и процесс нарезания резьбы может быть осуществлен за один рабочий ход. Обычно ширину гребенки принимают равной не менее чем шести шагам. Применение гребенок позволяет несколько повысить точность резьбы.

Контрольные вопросы.

1. Перечислите погрешности валов.
2. Назовите способы получения заготовок для ступенчатых валов.
3. Приведите типовую маршрутную технологию обработки гладких валов.
4. Дайте схему базирования вала на токарном станке.
5. Покажите схематично многорезцовую обработку вала.
6. В чем сущность врезного шлифования и в каких случаях оно применяется?
7. За счет чего производится изменение продольной подачи заготовки при бесцентровом шлифовании?
8. Используются ли концевые фрезы для фрезерования шпоночных пазов?
9. Приведите формы шлицевых соединений.
10. В каких случаях применяется способ центрирования по большому диаметру и как осуществляется обработка больших диаметров шлицевой втулки и вала?
11. Приведите способы изготовления резьб.

## ГЛАВА 10

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛОВ

#### 10. 1. Технологический процесс изготовления коленчатого вала

##### 10.1.1. Получение заготовки

Заготовки коленчатых валов получают горячей штамповкой и литьём. Кованные коленчатые валы изготавливаются из углеродистых и легированных сталей, а литые валы — из высокопрочных глобулярных чугунов, из ковких перлитных чугунов и легированных сталей. Литьё выполняется в земляные и оболочковые формы. Последний метод является более прогрессивным, т.к. он обеспечивает более высокую точность заготовки, снижает припуски на механическую обработку, а в некоторых случаях полностью её устраняет.

Изготовление заготовок коленчатых валов горячей штамповкой отвечает требованиям поточно-массового производства, т.к. этот метод приближает форму и размеры заготовки к форме и размерам готовой детали за счёт применения специальной технологической оснастки и специального оборудования, что снижает отход металла в стружку при механической обработке. При этом обеспечивается выгодное расположение волокон в металле, что повышает прочностные показатели деталей.

В условиях крупносерийного и массового производства заготовки стальных коленчатых валов штампуются на ковочных прессах, это обеспечивает более высокую производительность (до 2 раз) по сравнению со штамповкой на молотах. Кроме того, штамповка на прессах повышает точность заготовки за счёт уменьшения штамповочных уклонов и позволяет снизить припуски на механическую обработку (на 30...40%) за счёт лучшего обжатия металла в штампах и повышения точности формы заготовки. Лучшие результаты получаются, когда сочетаются штамповка на ковочных прессах с высадкой фланца на ГКМ.

Горячештамповочные заготовки коленчатых валов изготавливаются по 8... 9-му

квалитету точности.

Современные технологические процессы изготовления горячештамповочных заготовок коленчатых валов обеспечивают кривизну вала 1,0... 1,3 мм, овальность шеек 1,5...2,0 мм, продольный и поперечный перекосы 1,0... 2,0 мм, неперпендикулярность торца фланца 0,5...0,8 мм, припуски по диаметру шеек 5,0...6,5мм, припуски по торцам щёк 3,0... 4,0 мм.

Заготовки чугунных коленчатых валов получают литьём в земляную или оболочковую форму. При литье валов коренные и шатунные шейки изготавливают полыми, за счёт установки литейных стержней. У крупных литых валов делают полыми и щёки, что снижает вес вала. У литых валов исключается трудоемкая обработка масляных каналов, т.к. при отливке вала ставятся специальные трубки. Структура литого вала способствует лучшему гашению вибрации при работе двигателя.

При отливке в земляную форму в качестве связующего используют жидкое стекло, которое скрепляет форму при продувке её углекислым газом. Более прогрессивным методом изготовления заготовки коленчатых валов является литьё высокопрочного глобулярного чугуна (НВ 185... 255) в оболочковые формы. Литьё в оболочковые формы обеспечивает высокий коэффициент использования металла, высокое качество отливки, точность размеров и шероховатость в пределах 80 мкм по Ra. Высокая точность отливки позволяет сократить трудоемкость механической обработки за счёт уменьшения припусков. Литые валы лучше обрабатываются, менее чувствительны к концентрации внутренних напряжений и имеют меньшую начальную неуравновешенность, что облегчает условия эксплуатации станков и инструментов.

В условиях крупносерийного и массового производства изготовления оболочковых форм на основе терморезистивных смол может быть организовано по полуавтоматическому или автоматическому циклу, а литьё деталей в оболочковые формы производится на конвейере. Эти особенности оболочкового литья позволяют сократить технологический цикл изготовления заготовок коленча-

тых валов, потребность в площадях заготовительных цехов, а также потребность в формовочных материалах.

Литые заготовки коленчатых валов подвергаются термообработке (нормализация, обжиг) с целью снятия внутренних напряжений и выравнивания структуры. После термообработки литой вал правят в горячем состоянии. Отливки коленчатых валов характеризуются следующими данными; припуски по диаметру

шеек 3,0...3,5 мм; смещение отливки по линии разъёма формы 0,2...0,4 мм; припуски по торцам со стороны шеек 1,5...2,0 мм; овальность шеек 0,5... 1,0 мм; кривизна вала 1,0... 1,5 мм. 10.1.2.

### **10.1.2. Технологический процесс изготовления заготовки стального коленчатого вала.**

Исходным материалом для заготовки служит сталь 45, твёрдостью в нормализованном виде HB 163... 197. Заготовка изготавливается из проката квадратного сечения 120x120 мм, длиной 875 мм, массой 97 кг. Поковка коленчатого вала 58 кг, твердость поковки HB 163... 197. Схема технологического процесса изготовления заготовки коленчатого вала:

1. Резка проката на длину заготовки с предварительным подогревом до проката 450.. .550 С.;
2. Нагрев заготовки до 1220. . .1340 С.;
3. Предварительная и окончательная штамповка;
4. Обрезка заусенца;
5. Выкрутка 2 и 3-го колена относительно 1 и 4-го на  $90^{\circ} \pm 2^{\circ}$  (в горячем состоянии);
6. Правка заготовки в двух ручьях (в горячем состоянии);
7. Подогрев вала по мере необходимости;
8. Выкрутка остальных колен (в горячем состоянии);
9. Нормализация (температура печи  $850...870^{\circ}$  С, время нагрева 35 мин, охлаждение на воздухе);
10. Контроль твердости по Бринелю;

11. Очистка заготовки травлением или дробью;
12. Холодная правка по коренным шейкам;
13. Окончательный контроль основных размеров, формы и взаимного положения поверхностей.

### **10.1.3. Механическая обработка коленчатого вала.**

Технологический процесс механической обработки коленчатого вала трудоемок тем, что вал имеет достаточно сложную конструкцию при недостаточной ее жесткости и он сравнительно легко деформируется под действие сил резания. Все это вызывают особые требования к выбору методов базирования, закрепления и обработки вала, а также к последовательности, сочетанию операций и выбору оборудования. Как правило, базами коленчатого вала принимаются поверхности его опорных шеек.

Однако не на всех операциях механической обработки возможно использовать эти базы. В некоторых случаях на отдельных операциях за технологическую базу принимают поверхности центровых отверстий. При проектировании процесса механической обработки стремятся компенсировать недостаточную жесткость коленчатого вала за счёт введения промежуточных опор по длине вала. При использовании таких опор в качестве дополнительных баз принимают поверхности предварительно обработанных шеек.

Точность механической обработки повышается за счёт холодной правки вала в процессе механической обработки.

#### **Схема технологического процесса обработки коленчатого вала:**

1. Фрезерование торцов вала, изготовление центровых отверстий;
2. Фрезерование базовых площадок на щеках вала;
3. Предварительное и окончательное точение всех коренных шеек, шейки под сальник, шейки под шкив и под шестерню;
4. Правка коренных шеек с точностью 0,15 мм относительно оси центровых отверстий;
5. Предварительное и окончательное шлифование коренных шеек и шейки под сальник;

6. Предварительное шлифование шейки под шкив и шестерню;
7. Протачивание маслосгонной канавки;
8. Подрезка щеки и противовесов, прилегающих к шатунным шейкам, предварительное протачивание шатунных шеек;
9. Окончательное протачивание шатунных шеек под шлифование;
10. Промывка вала водным раствором при температуре 80° С.;
11. Обтачивание противовесов шести;
12. Сверление смазочных каналов, отверстия под пробки и нарезание резьбы;
13. Фрезерование шпоночного паза на хвостовике вала;
14. Снятие фаски на выходе смазочных каналов, зачистка заусенцев в грязесборниках, промывка вала и продувка каналов;
15. Закалка т.в.ч. коренных и шатунных шеек и шейки под шкив, промывка и охлаждение вала водным раствором;
16. Правка коренных шеек с точностью 0,15 мм относительно оси центров;
17. Предварительное шлифование всех коренных шеек и шейки под сальник;
18. Окончательное шлифование всех коренных шеек;
19. Шлифование шейки под шкив и шейки под шестерню;
20. Шлифование цилиндрической поверхности и торца фланца вала;
21. Шлифование шатунных шеек;
22. Сверление отверстий во фланце, сверление отверстий с другой стороны под храповик, зенкерование отверстия во фланце, сверление отверстия со стороны фланца по оси коренных шеек;
23. Нарезание резьбы под храповик;
24. Правка коренных шеек с точностью 0,03 мм относительно оси центров;
25. Растачивание отверстия под подшипник со стороны фланца;
26. Динамическая балансировка: первая с точностью 300 Г·см; вторая с точностью 30 Г·см;
27. Предварительное и окончательное полирование всех коренных и шатунных шеек и шейки под сальник, промывка вала;
28. Окончательный контроль качества обработки вала.



Закалка коленчатого вала производится охватывающими индукторами до твердости HRCэ 52... 56. Микроструктура закалённого слоя должна представлять собой мартенсит мелко- или среднеигльчатого строения.

Коренные и шатунные шейки закаливаются на глубину 6,7...3,3 мм, а шейки под шкив — на глубину 1,8...4,7 мм. Охлаждение детали при закалке совмещено с дополнительной промывкой.

Динамическая балансировка выполняется в два приёма. Исходный дисбаланс коленчатых валов достигает 3000...1500 Г·см, конечный дисбаланс у большинства коленчатых валов, работающих при 1300...2000 об/мин, не должен превышать 30...70 Г·см, а у валов, работающих при 3000...5000 об/мин, 15...20 Г·см.

Первая балансировка выполняется с точностью 300 Г·см на каждом конце вала, а вторая обеспечивает точность 30 Г·см на каждом конце вала. Дисбаланс устраняется за счёт высверливания металла из противовеса. При балансировке коленчатого вала все его внутренние полости и каналы заполняются маслом, резьбовые отверстия в шатунных шейках и выходы каналов закрываются технологическими пробками. Предварительное устранение дисбаланса осуществляется радиальным сверлением отверстий диаметром 20 мм на определённую глубину в крайних противовесах вала. Окончательная балансировка производится за счёт сверления отверстий диаметром 12 мм в средних противовесах.

Качество обработки вала многократно контролируется. Промежуточный контроль предупреждает попадание бракованных деталей на последующие операции обработки. Контроль коленчатых валов является достаточно трудоёмкой работой, т.к. у вала в общей сложности контролируется около 100 различных показателей качества и он имеет большое количество поверхностей с высокой точностью размеров, формы и взаимного расположения. Поэтому контроль качества вала должен выполняться с применением автоматических устройств.

## 10.2. Технологический процесс изготовления кулаков шарниров.

Кулак шарнира (рис. 10.1), представляющий собой ступенчатый вал с головкой; применяется в передних ведущих мостах гусеничных и колесных машин. Наиболее трудно обрабатываемыми поверхностями кулака являются четыре торговые поверхности в головке под шарики. Кроме того, в головке имеется одна сферическая поверхность под шарик, монтируемый в центре. Заданные положения и размеры беговых дорожек под шарики обеспечиваются точной установкой детали при фрезеровании дорожек, точной настройкой станка для обработки, проведением термической обработки. Высокая точность обработки зависит также от точности обработки базовых поверхностей на предшествующих операциях.

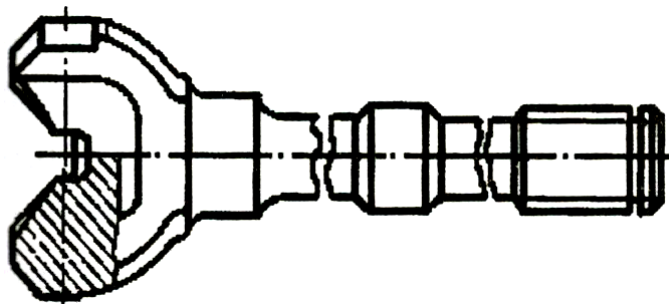


Рис. 10.1 Кулак шарнира.

При изготовлении кулака центрирование осуществляют по наружному диаметру ступени со шлицами. Поверхность центрирования должна быть обработана по 6-му качеству точности, а шероховатость в пределах 0,63 мкм по Ra.

Среднюю шейку кулака обрабатывают по 8... 9-му качеству точности. Биение этой поверхности при установке вала по центру, шлицевой поверхности и сферической поверхности в головке допускается не более 0,95 мм. При этой установке опорного торца головки биение допускается не более 0,1 мм. Суммарная погрешность расположения тора, включающая погрешность радиуса начальной линии беговой дорожки и смещения центра тора, не более  $\pm 0,15$  мм. Допуск диаметра беговой дорожки 0,2 мм; шероховатость поверхности Ra = 10 мкм., Кулаки изготавливают из стали твердостью HB 241...325; твердость поверхности после цементации (при глубине слоя 1,3...1,8 мм) должна быть не менее 58 HRCэ, сердцевины - не менее 26 HRCэ.

Заготовку получают объемной штамповкой. Смещение по плоскости разъема штампов допускается 2,1 мм; кривизна детали (при длине 500 мм) 1,5 мм; не оговоренные радиусы 2 мм.

Обработку технологической базы - одновременное фрезерование и центрование - выполняют на фрезерно-центровальных станках. Отверстие в головке сверлят в необработанной поверхности торца.

Токарную обработку выполняют на гидроконтрольных полуавтоматах. Заготовку устанавливают в плавающий передний (после обработки сферической поверхности - в шаровой) и задние центры. Осевые размеры выдерживают от торца головки.

После черновой обработки обеспечивается 12-й квалитет точности. Обработанную на этой операции шейку около головки и торец используют как базу при установке кулака на токарно-револьверном станке. На данном станке обрабатывают конусные поверхности (наружную и внутреннюю), сверлят и зенкеруют отверстие на сферической поверхности. Смещение центра сферы от оси детали должно быть не более 0,2 мм. Торец головки подрезают при поперечной подаче нижнего суппорта.

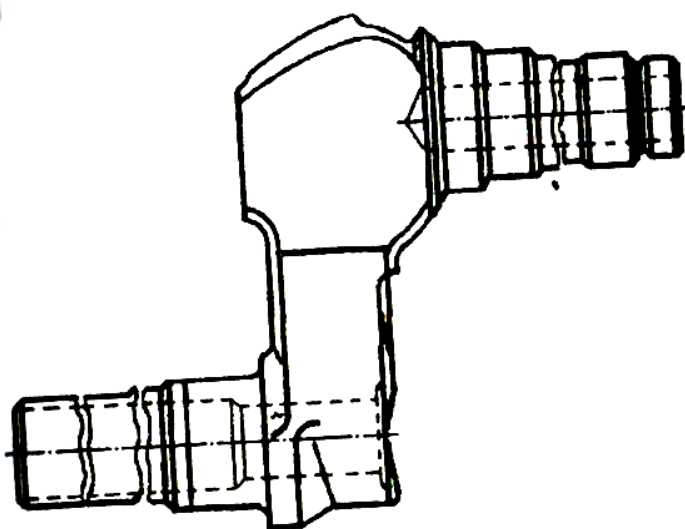
При чистовой токарной обработке точность хвостовика соответствует 11-му квалитету точности, биение наружных поверхностей относительно оси не более 0,15 мм. Шлифование кулака проводят с целью создания точных баз для установки при фрезеровании беговых дорожек. На этой операции среднюю шейку и шейку у головки обрабатывают с более высокой точностью (6-й квалитет). Погрешность расстояния от центра сферической поверхности до торца головки допускается не более 0,05 мм, что достигается применением осевого индикаторного упора, который настраивают по эталону. Биение шеек и торца допускается не более 0,05 мм. Дорожки фрезеруют на зубофрезерном станке специальной фрезой. Кулак крепят в цанговом патроне. При повороте детали для обработки следующих дорожек используют делительный диск. После обработки суммарная погрешность беговой дорожки, которую проверяют на специальном приспособлении, допускается не более  $\pm 0,08$  мм.

Необходимая твердость поверхностей обеспечивается термической обработкой (цементацией и закалкой). Шлифование шеек и шлицев производят при установке заготовки в центрах. Центральную шейку хвостовика шлифуют на круглошлифовальном станке, обеспечивая при этом 8... 9-й квалитет точности. После мойки проводят окончательный контроль размеров детали и расположения поверхностей с помощью скоб, шаблонов, микрометров и специальных приспособлений.

### 10. 3. Технологический процесс изготовления балансиров

Балансир (рис. 10.2) является ответственной деталью независимой подвески гусеничных машин. Он состоит из щеки и двух хвостовиков. Одним хвостовиком, который называют осью балансира, балансир установлен в подшипниках корпуса гусеничной машины. Ось соединена с торсионным валом с помощью шлицев. Второй хвостовик, который называют осью катка, предназначен для монтажа опорного катка.

Точность обработки шейки оси катка балансира должна соответствовать 6-му квалитету точности, шероховатость поверхности  $Ra$  1,25 мкм. Точность обработки шеек на оси балансира под подшипники должна соответствовать 8...9-му



квалитетам, шероховатость поверхности  $Ra = 1,25$  МКМ.

Балансиры работают в условиях переменных ударных нагрузок, материалы, из которых оси изготовлены, должны обладать высокими прочностными свойствами, малой чувствительностью к концентрации напряжений.

Рис. 10.2 Балансир.

Этим требованиям отвечают легированные стали. Заготовки балансиров в серийном производстве обычно получают методом объемной горячей штамповки. Исходным материалом служит круглый сортовой прокат.

Для обеспечения стабильности качества деталей партию заготовок необходимо изготавливать из металла одной плавки, поэтому каждую исходную заготовку маркируют. Поковки балансиров указанных размеров получают в открытых многоручьевых штампах на штамповочных молотах. Заготовки перед штамповкой нагревают до температуры 1200 °С.

Полученная объемной штамповкой поковка имеет форму, близкую к форме готовой детали. Общий коэффициент использования металла 0,52.

Хвостовики балансира обрабатывают при установке заготовки в центрах с соблюдением принципа постоянства баз. Укрупненная последовательность механической обработки балансира следующая: обработка технологических баз (фрезерование торцов и центрирование хвостовиков); черновая обработка (обтачивание) наружные поверхностей оси катка и поверхностей оси балансира с другого установка или при другой операции; чистовая обработка (обтачивание) поверхностей оси катка, а затем оси балансира; фрезерование резьбы на оси катка; шлифование шеек - сначала оси катка, затем оси балансира; обработка отверстий (сверление, растачивание) осей; протягивание шлицев; сверление и нарезание резьбы в нескольких отверстиях; калибрование и снятие заусенцев; мойка и окончательный контроль детали.

Указанный маршрут обработки в зависимости от серийности производства может изменяться. В условиях серийного производства балансиры обрабатывают на поточных линиях, причем отверстия в оси балансира обрабатывают на автоматических линиях.

Для получения технологических баз у балансира фрезеруют только торцы хвостовиков. Обработку ведут одновременно за одну операцию. Для направления центровочных сверл применяют кондукторные втулки.

Черновую обработку шеек балансира выполняют на токарных многорезцовых станках. При обтачивании шеек балансир устанавливают в центрах. Хвостовик, не обрабатываемый на данной операции, пропускают через специальное отверстие в планшайбе. Чистовое обтачивание шеек балансира выполняют на гидрокопировальных станках.

Шейки балансира шлифуют один раз на круглошлифовальных станках обычно методом врезания (припуск на сторону до 0,3 мм). При одновременной обработке торца и шейки круг устанавливают под углом. После шлифования точность обработки шеек соответствует 6... 8-му квалитетам и шероховатость поверхности  $Ra = 1,25$  мкм. Радиальное биение поверхностей и биение торцов относительно основной шейки допускается не более 0,1 мм. Для упрочнения две шейки и галтель оси балансира обкатывают роликами. Упрочняющая обработка обеспечивает повышение поверхностной твердости на 25... 40 % и глубину наклепанного слоя на 0,5... 1 мм. В хвостовиках балансира необходимо обработать глубокие отверстия с соотношением  $l/d > 6$ . При крупносерийном производстве эти отверстия обрабатывают на специальных автоматических линиях.

К точности обработки отверстия оси катка не предъявляют высоких требований, поэтому его обрабатывают методом ступенчатого сверления спиральными сверлами.

Контроль балансиров включает проверку размеров с помощью скоб, шаблонов, пробок и универсальных измерительных приборов.

#### Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Как производится точность обработки оси катка?
2. Как обрабатывают хвостовики балансира?
3. Как осуществляется центрирование кулака при изготовлении?
4. Расскажите технологический процесс изготовления кулаков шарниров.
5. Повторите технологический процесс изготовления балансиров.
6. Как производится технологический процесс механической обработки коленчатого вала?
7. Как изготавливаются заготовки коленчатых валов горячей штамповкой?
8. На чем штампуются в условиях крупносерийного и массового производства заготовки стальных коленчатых валов?

## ГЛАВА 11

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

#### КЛАССА ВТУЛОК

##### 11.1. Характеристика втулок

К деталям класса втулок относятся втулки, гильзы, цилиндры, стаканы, обоймы, фланцы и другие, т.е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось. Данные детали характеризуются, как правило, размерным соотношением:

$$0,5D \leq L \leq 2 D, \quad (11.1)$$

где L и D - соответственно длина и наружный диаметр детали.

К большинству втулок предъявляются высокие требования по точности обработки и качеству обработанной поверхности. Точность размеров. Диаметры наружных поверхностей выполняют по б... 7 квалитетам, отверстия - по 7, реже по 8 квалитету. Для ответственных сопряжений внутренний диаметр изготавливается по Н6. Точность формы. В большинстве случаев погрешность формы не должна превышать 0,3... 0,5 допуска на размер. Точность взаимного расположения:

- соосность наружных и внутренних поверхностей в пределах 0,015...0,075 мм;
- допуск торцевого биения относительно оси отверстия не более 0,03... 0,05 мм;
- разностенность - 0,03... 0,15 мм.

Качество поверхностного слоя. Шероховатость внутренних и наружных поверхностей вращения должна соответствовать 1,6... 3,2 мкм по Ra, торцевых поверхностей - 3,2... 6,3 мкм. Нижние величины шероховатостей для ответственных цилиндрических поверхностей.

##### 11.2. Материалы и заготовки.

Материалом для изготовления деталей класса втулок являются черные и цветные металлы и их сплавы, металлические порошки, пластмассы.

Заготовками для небольших деталей простой формы с диаметром отверстия до 25 мм могут быть калиброванные или горячекатаные прутки и отливки.

При диаметре отверстия более 25 мм заготовки получают из цельнотянутых труб, отлитые в песчаные или металлические формы, а также в виде поковок и штампованных заготовок с прошитыми отверстиями. Естественно, все заготовки из чугуна и цветных металлов и их сплавов получают литьем, при этом предпочтение отдаются тем способам, которые обеспечивают наименьшие припуски на механическую обработку. Перспективным методом для изготовления заготовок для сложных тонкостенных деталей является штамповка жидкого металла, при котором коэффициент использования металла достигает 0,9. Для получения стальных заготовок с фланцами или буртами наиболее оптимальной является штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).

### **11.3. Основные операции обработки наружных и внутренних поверхностей**

Токарная операция. В зависимости от типа производства при использовании заготовок из круглого или трубного проката производится на токарно-револьверных, токарных многошпиндельных полуавтоматах и автоматах, многорезцовых копировальных полуавтоматах, а также на станках с числовым программным управлением.

В крупносерийном и массовом производстве большое распространение получили одно и двухшпиндельные вертикальные и горизонтальные многорезцовые полуавтоматы. Они удобны в эксплуатации, могут быть легко объединены в автоматические линии.

Обработка наружных поверхностей деталей класса втулок практически не отличается от обработки деталей типа вал. Операция обработки внутренних поверхностей (отверстий) осуществляется различными методами и инструментами. Режущими инструментами при данной операции являются сверла, зенкеры, развертки, расточные резцы.

Обработку отверстий диаметром до 25...40 мм осуществляют сверлами за один проход, сверление отверстий свыше 40 мм и до 80 мм производят за два прохода. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют специальные сверла или сверлильные головки специальных конструкций.



К специальным сверлам относятся:

- полукруглые - разновидность ружейных сверл одностороннего резания, которые применяются для обработки заготовок из материалов, дающих стружку, скалывания (чугун, бронза);

- ружейные - одностороннего резания с внешним или внутренним отводом СОЖ с пластинами твердого сплава;

- кольцевые сверла — они вырезают в сплошном металле кольцевую поверхность.

*Зенкерование* отверстий производится как предварительная обработка литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее развертывание, растачивание или протягивание. Зенкерование может быть окончательной операцией при обработке отверстий по 11... 13 качеству. Зенкеры исправляют, но не устраняют полностью искривления оси отверстия.

*Развертывание* отверстий служит как чистовая операция обработки отверстий с точностью до 7 качества. Развертыванием достигается высокая точность диаметральных размеров и формы, а также малая шероховатость поверхности. Конструктивная особенность разверток такова, что они в процессе работы испытывают большие радиальные нагрузки. Вследствие этого развертки не обеспечивают точности направления оси отверстия, а стремятся сами установиться по отверстию. Поэтому развертки жестко не крепятся, так как они самоустанавливаются по уже имеющемуся отверстию. Развертки обычно не применяются для развертывания больших по диаметру, коротких, глухих и прерывистых отверстий.

*Растачивание отверстий* может осуществляться двумя способами:

1) растачивание, при котором вращается заготовка (на станках токарной группы);

2) растачивание, при котором вращается инструмент (на станках расточной группы).

При вращающейся заготовке значительно проще обеспечить прямолинейность оси и точность ее положения, труднее получить правильность формы.

При вращающемся инструменте труднее получить ось, но легче достигается правильность формы. Режущими инструментами при растачивании отверстий служат резцы, закрепленные в борштангах, расточные пластины, расточные головки.

*Протягивание* отверстий широко применяют в массовом, крупносерийном и серийном производствах. По сравнению с развертыванием протягивание производительнее в 8... 9 раз. Для финишной обработки отверстий применяют внутреннее шлифование, хонингование, раскатывание.

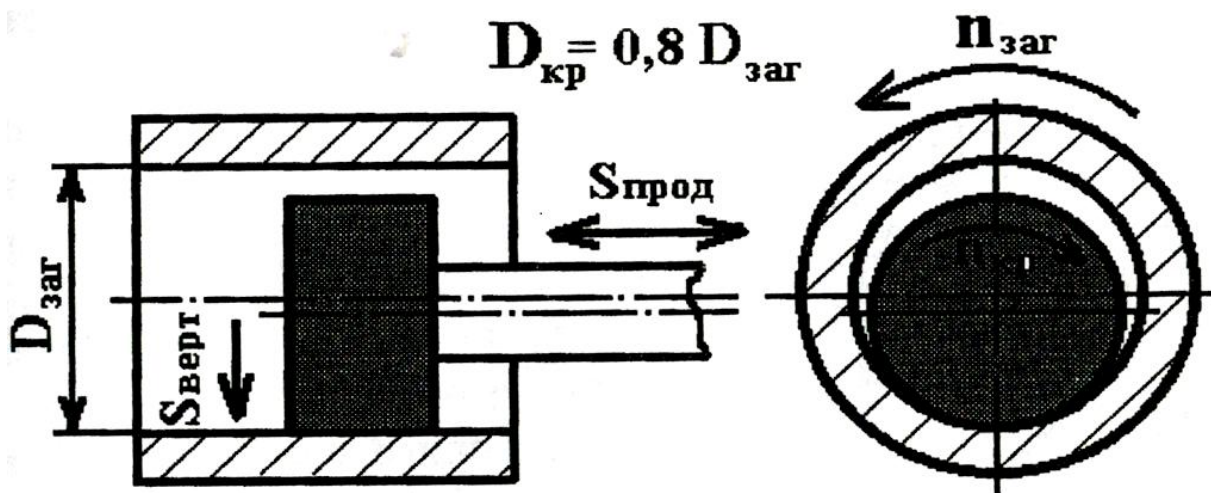
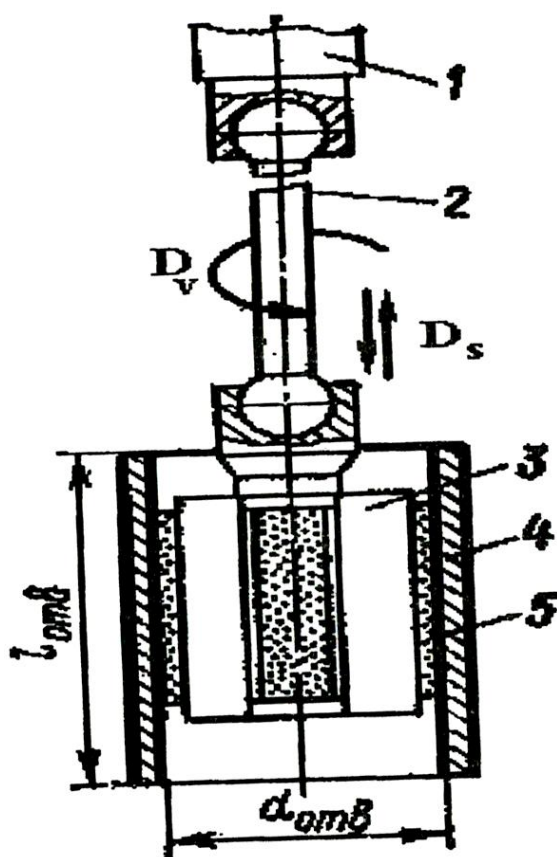


Рис. 11.1 Схема внутреннего шлифования.

*Шлифование применяют* для окончательной обработки закаленных заготовок для обеспечения точности размеров IT6...IT7 и шероховатость поверхности  $Ra = 0,4... 1,6$  мкм. На рис. 11.1 показана схема внутреннего шлифования с продольной подачей. Продольная подача круга при черновом шлифовании составляет 0,6... 0,8 высоты круга, при чистовом шлифовании - 0,2... 0,3 высоты круга. Вследствие относительно малой жесткости шпинделя с оправкой для шлифовального круга вертикальную (радиальную) подачу при черновом шлифовании устанавливают до 0,02 мм, а при чистовом шлифовании до 0,01 мм за один двойной ход круга.

Для внутреннего шлифования выбирают более мягкие круги, чем для наружного шлифования, так как контакт круга и обрабатываемой поверхности отверстия осуществляется по удлиненной дуге, что вызывает более интенсивный нагрев обрабатываемой заготовки.

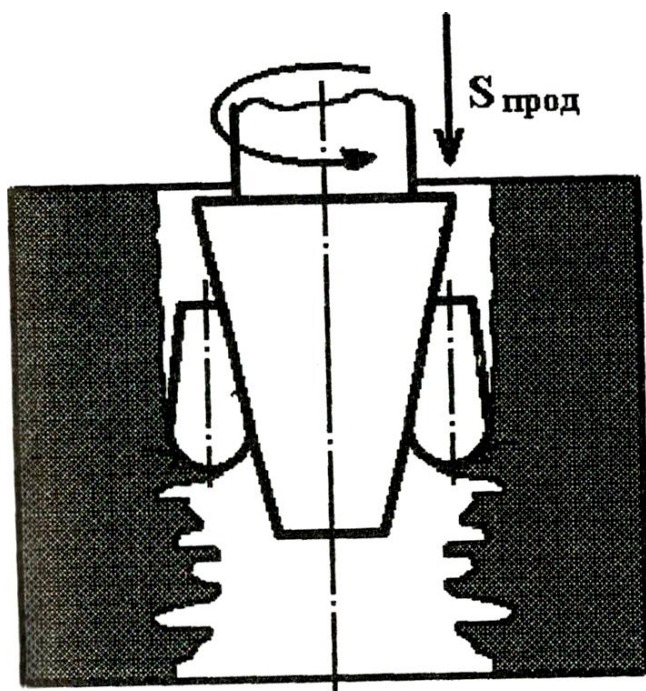
Хонингование является основным методом отделочной обработки гладких отверстий диаметром от 25 до 500 мм в незакаленных и закаленных деталях из стали. Данная операция успешно применяется и при обработки чугунных деталей. Хонингование обеспечивает высокую точность размеров, геометрическую форму отверстия, а также для уменьшения шероховатости поверхности. На рис. 11.2 приведена схема процесса хонингования. Хонинговальная головка (хон) 3 с помощью стержня 2 шарнирно соединена со шпинделем станка 1. На цилиндрической части головки хона в специальных гнездах крепятся механически или приклеиванием мелкозернистые абразивные бруски 5. Внутри головки смонтирован конический регулируемый стержень, который производит радиальное разжатие брусков, прижимая их с задаваемым усилием к обрабатываемой поверхности отверстия.



Хон вращается с окружной скоростью 20... 80 м/мин, одновременно совершая возвратно-поступательное движение вдоль оси отверстия заготовки 4 со скоростью 5...40м/мин. Раздвижение абразивных брусков происходит автоматически по мере уменьшения припуска, величина которого составляет 0,01...0,2 мм. Раскатывание отверстий применяется для стальных заготовок твердостью не более 30 HRCэ и заготовок из цветных металлов и сплавов. Данный процесс обеспечивает достижение точности отверстий до 6 качества и шероховатость

поверхности 0,2...0,4мкм по Ra. Одновременно раскатывание обеспечивает уплотнение поверхностного слоя и повышение его твердости на 20...40%. При раскатывании применяют различные конструкции шариковых и роликовых раскаток, но более широко применяют

многороликовые раскатки. Схема процесса раскатывание многороликовой раскаткой приведена на рис.11.3.



До раскатывания отверстие заготовки обрабатывают растачиванием, режес – шлифованием по 7...9 качеству, оставляя припуск под раскатывание 0,005...0,05 мм на диаметр. Раскатывание не исправляет положение оси отверстия, поэтому точность расположения отверстия должна обеспечиваться на предшествующей операции. Раскатывание осуществляют на сверлильных, токарных или специальных станках.

Рис. 11.3 Схема раскатывания отверстия. Данная операция эффективна при финишной обработке длинных отверстий, так как внутреннее шлифование таких отверстий вызывает большие технологические трудности.

#### 11.4. Типовой маршрут изготовления втулок

На рисунке 11.4 показан чертеж одной из конструкции втулок.

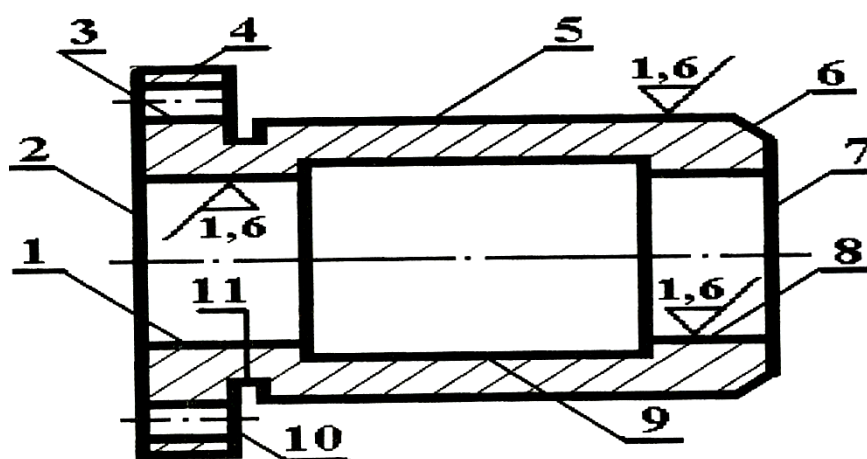


Рис. 11.4 Чертеж втулки.

Ниже дано краткое описание операций изготовления данной втулки.

000. Заготовительная (ГКМ).

005. Токарная. Расточить поверхность 1 и 8 под шлифование, поверхность 9 расточить начисто, подрезать торец 2.

010. Токарная. Точить поверхность 5 под шлифование, точить поверхность 4, подрезать торец 7, точить фаску 6, точить канавку 11.

015. Сверлильная. Сверлить 2 отверстия 3.

020. Термическая.

025. Внутришлифовальная. Шлифовать поверхности 1 и 8 предварительно.

030. Круглошлифовальная. Шлифовать поверхность 5 предварительно и окончательно, шлифовать торец 10.

035. Хонинговальная. Хонинговать поверхности 1 и 8.

040. Мойка.

045. Контрольная.

#### Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Приведите маршрутную технологию обработки наружной поверхности втулок.

2. Перечислите виды специальных сверл и в каких случаях их применяют взамен спиральных сверл?

3. Как выбирается диаметр шлифовального круга в зависимости от внутреннего диаметра втулки?

4. Какая шероховатость обрабатываемой поверхности втулки достигается при хонинговании?

5. Что такое алмазное хонингование?

6. У каких конструкций раскаток выше производительность роликовых или шариковых?

7. Втулки из каких материалов можно раскатывать?

8. Какой процесс более эффективен при обработке внутренних поверхностей втулок: протягивание, хонингование или раскатывание?

## ГЛАВА 12

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА РЫЧАГОВ

#### 12. 1. Характеристика деталей типа рычагов

К данному типу деталей относятся рычаги разной конфигурации, коромысла, вилки, шатуны, тяги с проушинами и другие детали подкласса 743000 классификатора ЕСКД. Детали данного типа служат для осуществления кинематической связи между механизмами, а также отдельными деталями в изделии. Как правило, у рычагов обрабатываемыми поверхностями являются площадки и отверстия в бобышках, располагаемых на концах стержня. Поперечное сечение стержня обычно некруглое. Оси основных отверстий, которых в рычагах два или более, параллельны или расположены под различными углами. Кроме основных отверстий и опорных площадок на концах стержня у деталей данного типа, в зависимости от конструкции, обрабатывают шпоночные пазы, шлицевые поверхности, прорези в бобышках, крепежные отверстия и другие поверхности. В отдельных случаях обработке подвергаются и стержни.

В зависимости от служебного назначения и конструкции деталей к ним предъявляются следующие технические требования:

1. При обработке необходимо обеспечить правильную геометрическую форму основных отверстий и их торцов.
2. Точность диаметров основных отверстий должна соответствовать 6... 9-му квалитетам.
3. Отклонение от параллельности осей основных отверстий допускается в пределах 0,05...0,25 мм на 100 мм длины; отклонение от перпендикулярности торцовых поверхностей бобышек к осям основных отверстий 0,05... 0,30 мм на 100 мм радиуса; отклонение от соосности наружных поверхностей головок нагруженных рычагов, тяг, серег и других деталей, подверженных осевой нагрузке, относительно основных отверстий из условий прочности 0,5...1,0 мм.
4. Параметр шероховатости поверхности основных отверстий  $Ra = 0,32...2,5$  мкм, торцовых поверхностей до  $Ra = 1,25$  мкм.

5. Для увеличения срока службы твердость исполнительных поверхностей этих деталей в пределах НКСэ 40...62.

## **12. 2. Материал и заготовки**

В качестве материала деталей типа рычагов, не подвергающихся в машине ударным нагрузкам, значительному растяжению и изгибу, служит серый чугун марок СЧ 12, СЧ 15, СЧ 18. Для деталей, работающих в более тяжелых условиях и испытывающих большие напряжения, используют более прочный чугун марок СЧ 21, СЧ 24, а при значительных ударных нагрузках - ковкий чугун марок КЧ 35-10 или КЧ 37-12. Применяют также конструкционные и легированные стали марок 20, 35, 40, 45, 35Х, 40Х, 18ХГТ, 35Л и др. В зависимости от материала и годового объема выпуска деталей заготовки для них могут быть получены свободной ковкой, штамповкой или литьем. Тяжело нагруженные

рычаги изготовляют исключительно из кованных или штампованных заготовок, так как при этих методах обеспечиваются наиболее высокие механические характеристики материала. В условиях единичного и мелкосерийного производства для получения стальных заготовок простой конфигурации используют свободную ковку.

*Штампованные* заготовки характерны для изготовления деталей в условиях серийного и массового производства. При объемной штамповке в качестве исходной заготовки используют горячекатаный прокат или предварительно ковваную заготовку. Штамповку осуществляют на паровоздушных штамповочных молотах, кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах. Для снятия остаточных напряжений после штамповки, а также для улучшения обрабатываемости после кузнечных операций заготовки подвергают нормализации.

Перспективным для изготовления рычагов, вилок и других деталей является использование метода горячего прессования порошковых материалов, позволяющего получить точные заготовки с мелкозернистой структурой, обеспечивающей высокие прочностные свойства изделий.

Порошковая металлургия позволяет почти полностью исключить механическую обработку и обеспечивает достаточно высокую степень автоматизации процесса.

*Заготовки из серого и ковкого чугуна* при небольшом их выпуске обычно получают литьем в разовые песчаные формы с применением ручной и машинной формовки. Для образования основных отверстий используют стержни. Минимальный диаметр литых отверстий 10...15 мм. При увеличении серийности производства и повышении требований к качеству отливок чугунные заготовки, а также стальные заготовки сложной формы изготавливают литьем по выплавляемым и газифицируемым моделям. Применение современных способов литья позволяет обеспечить точность отливок, соответствующую 10...15-му квалитетам при шероховатости поверхности  $Ra = 2,5... 10$  мкм.

### **12.3. Технологические требования изготовления рычагов**

Чтобы обеспечить выполнение технических требований, минимальную трудоемкость и себестоимость механической обработки деталей типа рычагов, при их конструировании следует, по возможности, соблюдать следующие технологические требования:

1. Детали должны обладать хорошо развитыми опорными технологическими базами, чтобы было обеспечено надежное жесткое закрепление их во время механической обработки.
2. Следует избегать ступенчатого расположения обрабатываемых плоскостей рычагов. Расположение в одной плоскости допускает обработку на проход.

### **12. 4. Технология обработки рычагов**

В условиях мелкосерийного и единичного производства рычаги обрабатывают на универсальном оборудовании с применением универсально-безналадочных или универсально-сборных приспособлений. При достаточной номенклатуре конструктивно похожих деталей могут быть использованы принципы групповой технологии, когда заготовки обрабатывают в групповых приспособлениях, переналаживаемых путем перемещения установочных эле-



ментов, замены кондукторных втулок и других деталей. Для групповой обработки можно использовать станки с программным управлением.

В условиях среднесерийного производства принципы групповой технологии находят наибольшее применение. Использование многоместных групповых приспособлений позволяет с успехом применять самое разнообразное оборудование, включая универсальные станки с ручным и числовым программным управлением, агрегатные и специальные станки. Эффективным является использование универсально-наладочных, сборно-разборных и специализированных наладочных приспособлений.

В крупносерийном и массовом производстве детали типа рычагов обрабатывают на протяжных, многошпиндельных, одно и многопозиционных агрегатных станках в неразборных специальных приспособлениях, а так же в приспособлениях - спутниках на автоматических линиях.

Применение приспособлений во всех случаях обеспечивает получение заданного взаимного расположения основных поверхностей деталей. Точность основных отверстий, как правило, обеспечивается за счет использования мерных режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток).

Основными этапами технологического процесса механической обработки рычагов являются:

1. Последовательная или одновременная обработка торцовых поверхностей основных отверстий.
2. Черновая и чистовая обработка основных отверстий.
3. Обработка шпоночных пазов и шлицевых канавок в основных отверстиях.
4. Обработка поверхностей стержня рычага, прорезей, пазов, фасонных и дополнительных поверхностей рычагов.
5. Обработка вспомогательных отверстий, включая нарезания в них резьб.
6. Термическая обработка всей детали или отдельных ее поверхностей.
7. Отделочная обработка поверхностей, к которым предъявляются повышенные требования по точности и шероховатости.

В зависимости от конструктивных особенностей деталей и объема выпуска применяют такие варианты маршрута, при которых первый и второй этапы меняют местами или объединяют.

При использовании многопозиционных агрегатных станков и многоцелевых фрезерно-сверлильно- расточных станков с ЧПУ в одной операции объединяют несколько этапов. Следует отметить, что детали данного типа не часто подвергают термической обработке. Для повышения усталостной прочности ответственных рычагов, например шатунов, их поверхности упрочняют, применяя дробеметный наклеп. На разных операциях механической обработки используют различные технологические базы; Черновыми технологическими базами при обработке заготовок рычагов обычно служат необработанные торцы основных отверстий и наружные контуры бобышек. При таком базировании фрезеруются торцы основных отверстий с одной стороны заготовки, а при использовании агрегатных многошпиндельных станков дополнительно обрабатываются основные отверстия и вспомогательные поверхности.

При обработке основных отверстий на универсальные станках с ручным управлением в качестве технологических баз принимают обработанные торцы и наружные необработанные поверхности бобышек, благодаря чему достигается равная толщина стенок головок.

При формировании шпоночных и шлицевых пазов рычаги базируют по обработанным основным отверстиям и торцам. Для угловой ориентации используют либо второе отверстие, либо не- обработанную поверхность стержня, либо вторую бобышку рычага.

При наличии шлицевых или шпоночных пазов в основном отверстии целесообразно их использовать для угловой ориентации заготовки. Для рычагов с двумя или более основными отверстиями могут быть применены схемы базирования по торцу и двум отверстиям. При соотношении длины к диаметру отверстия 1,5 и более положение заготовки относительно тех же осей определяется по отверстию, являющемуся двойной направляющей базой. В этом случае

торец бобышки будет служить опорной базой, лишаящей заготовку одной степени свободы.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Дайте характеристику деталей типа рычагов.
2. Перечислите основные материалы для изготовления рычагов.
3. Составьте маршрутную технологию обработки рычага.
4. Перечислите основные требования к изготовлению рычагов.
5. Приведите способы базирования рычагов при различных конструкциях рычагов.
6. Что используют в качестве материала для деталей типа рычагов, не подвергающихся в машине ударным нагрузкам, значительному растяжению и изгибу?
7. Какие требования технические предъявляются в зависимости от служебного назначения и конструкции к при изготовлении деталей типа рычагов?
8. Какие этапы объединяют при использовании многопозиционных агрегатных станков и многоцелевых фрезерно-сверлильно- расточных станков с ЧПУ в одной операции?
9. Назовите всю технологическую цепочку обработки рычагов.
10. Как осуществляют штамповку?

# ГЛАВА 13

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ДИСКОВ

### 13.1. Характеристика деталей типа дисков

Детали типа дисков широко применяются при изготовлении транспортных и технологических машин. Это маховики, ведущие и направляющие колеса, опорные и поддерживающие катки, крышки, барабаны, различные кольца, диски трения, шкивы и др.

Конструктивной особенностью деталей этого типа является то, что они имеют форму тел вращения, у которых высота детали не превышает половины наибольшего наружного диаметра. Детали, как правило, имеют центральное цилиндрическое, коническое, резьбовое или шлицевое отверстие.

Конструкция ряда деталей предусматривает наличие отверстий для крепления, которые расположены по окружности, концентричной центральному отверстию.

Главными поверхностями деталей типа дисков являются торцы и короткие цилиндрические и конические наружные и внутренние поверхности, обрабатываемые, в основном, при вращении детали. К большинству деталей типа дисков предъявляются высокие технические требования по точности, прочности, жесткости, износостойкости, коррозионной стойкости и другим свойствам, определяемым их назначением.

### 13.2. Материалы и методы получения заготовок

В зависимости от служебного назначения детали типа дисков изготавливают из углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов, терморезистивных порошков и неметаллических материалов.

Шкивы, фланцы, маховики, крышки изготавливают большей частью из чугунов. Для изготовления опорных катков применяются стали и алюминиевые сплавы. Тормозные барабаны выполняют из чугунов твердостью HB = 170...240. Диски трения изготавливают из легированной стали с покрытием металлокерамикой.

Наиболее широко используют стали 20, 45, 20Х, 40Х, 12ХНЗА, 18ХГГ, 25ХГГ, 40ХФА. Колеса из сталей 12ХНЗА, 20Х и 25ХГГ, подвергают нитроцементации с последующей закалкой; колеса из стали 18ХГГ - цементации и закалке. При изготовлении стальных колес высокой точности для снятия внутренних напряжений чередуют их механическую и термическую обработку. В зависимости от типа производства, материала детали, ее конфигурации и размеров, для получения заготовок деталей типа дисков могут быть использованы следующие методы: отрезка из круглого, трубного, профильного проката; ковка; объемная горячая и холодная штамповка; литье; холодная листовая штамповка, порошковая металлургия, комбинированные процессы и др. Заготовки деталей простой формы диаметром до 70 мм получают резкой из проката. При этом в единичном и серийном производствах используют горячекатаные или холоднотянутые гладкие прутки или трубы.

В массовом и крупносерийном производствах может применяться специальный прокат. Наиболее распространенным методом получения стальных заготовок деталей типа дисков в серийном и массовом производствах является горячая объемная штамповка, которая осуществляется на молотах, кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах. Процесс штамповки на кривошипных прессах является более совершенным, чем штамповка на молотах. На прессах можно получить заготовки, достаточно близкие по размерам и форме к готовой детали. Коэффициент использования металла в среднем составляет 0,6... 0,7. Штампованные заготовки целесообразно выполнять с прошитыми центральными отверстиями, если их диаметр более 30 мм, а длина не превышает четырех диаметров этих отверстий.

Получение заготовок путем холодной объемной штамповки позволяет довести коэффициент использования металла до 0,95... 0,97, при одновременном повышении прочностных характеристик материала.

Таким образом, можно изготавливать достаточно крупные и сложные детали транспортных и технологических машин. область применения холодной объем-

ной штамповки ограничивается свойствам и конструкционных материалов, в частности, предельным значением прочности и размерами заготовок.

Заготовки из чугуна, стального и бронзового литья, алюминиевых сплавов получают литьем в песчаные формы, кокильным и центробежным литьем.

Прогрессивным методом получения заготовок деталей типа дисков, особенно зубчатых колес, является метод порошковой металлургии, при котором заготовки опекаются из порошковых смесей при температурековки. Материалом служат металлические порошки с добавлением легирующих элементов (никеля, хрома, молибдена и др.) Порошковая смесь тщательно перемешивается и пресуется в закрытом штампе. Спрессованная из порошка заготовка упрощенной формы подвергается спеканию в печах при температуре 1150... 1350 градусов. После вторичного нагрева при температуре 800... 1100 градусов заготовка вновь подвергается горячему прессованию в закрытом штампе. При этом плотность металла возрастает, обеспечивая тем самым высокую механическую прочность.

Точность получения заготовки позволяет практически отказаться от механической обработки, за исключением отделочных операций. Порошковая металлургия позволяет получить значительную экономию металла, так как при изготовлении 1 т. заготовок из металлического порошка экономится 2 т. стального проката. В отечественной практике накоплен достаточный опыт применения нового технологического процесса - штамповки жидкого металла, который объединяет в себе процессы литья, горячей штамповки и выдавливания. Штамповку жидкого металла используют в серийном и массовом производствах для получения заготовок самой разнообразной формы. Данный метод обеспечивает точность заготовок по II... 14-му квалитетам, а коэффициент использования металла - до 0,93.

### **13.3. Типовая схема обработки заготовок**

В большинстве случаев черновыми технологическими базами являются один из торцов и наружная цилиндрическая поверхность. Постоянными базами

для последующей механической обработки служат обработанный торец и наружная или внутренняя цилиндрическая или коническая поверхности, обработанные на первой операции. При необходимости для установки заготовки в определенном угловом положении можно использовать одно из отверстий малого диаметра на торце, лыску, шпоночный паз, шпигцы, впадину зуба и т. п.

***Изготовление деталей типа дисков осуществляется в следующей последовательности:***

1. Черновая и чистовая обработка торца и отверстия, а также черновая обработка свободной части наружной поверхности при установке заготовки на торец и центрирующем зажиме по наружной цилиндрической поверхности.

2. Черновая и чистовая обработка наружных поверхностей и торцов с другой стороны заготовки при базировании ее по обработанным начисто внутренней цилиндрической поверхности и одному из торцов.

3. Выполнение второстепенных операций, например: сверление и развертывание мелких отверстий, нарезания в них резьбы; фрезерование небольших поверхностей; протягивание шпоночных канавок и т. д.

4. Термическая обработка.

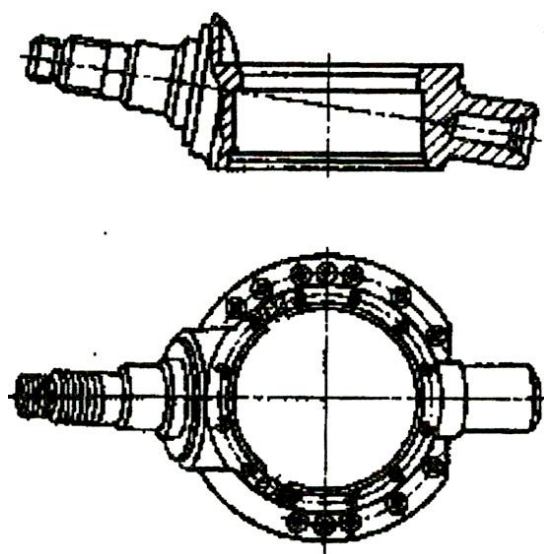
5. Отделка точных поверхностей шлифованием, хонингованием, обкатыванием и т. п.

Технологический процесс изготовления мелких и небольших деталей типа дисков отличается иногда от приведенного выше тем, что чистовую обработку гладкого или шлицевого отверстия (при диаметре не более 80 мм) выделяют в отдельную операцию протягивания, а черновая обработка отверстия и торца выполняется на одно- или многопозиционных сверлильных станках, а не на станках токарного типа. Для обработки основных поверхностей деталей типа дисков используют токарные полуавтоматы и автоматы различных типов; универсальные токарные, сверлильные и фрезерные станки с ручным управлением и с ЧПУ, в том числе токарные многоцелевые станки, обладающие большими технологическими возможностями; специальные сверлильные и агрегатные полуавтоматы; вертикально- и горизонтально- протяжные станки. Отделочные

операции, как правило, выполняют на шлифовальном оборудовании различных типов и на отделочно-расточных станках.

### 13. 4 Технологический процесс изготовления поворотного кулака

Поворотный кулак (рис. 13.1) представляет собой сложную деталь, в центральной части которой расположено тело вращения (диск) большого диаметра со ступенчатыми отверстиями. Оси длинной и короткой цапф пересекаются с осью отверстия диска под углом  $83^0$ . В торцах и фланце диска, в цапфах имеется значительное число отверстий. Технологический процесс изготовления



поворотного кулака условно можно разбить на две части: - операции по обработке поверхностей цапф, последовательность которых типовая, характерная для обработки ступенчатых шлицевых валов; - операции по обработке поверхностей центрального тела вращения (диска), последовательность которых характерна для деталей, имеющих форму диска.

Рис. 13.1 Поворотный кулак.

Точное взаимное расположение поверхностей цапф и центрального отверстия обеспечивают применением специального приспособления с установкой детали по шейкам цапф. Наиболее высокие требования предъявляют к размерам посадочных шеек цапф под подшипники: точность их обработки должна соответствовать 5...6-му квалитетам точности, шероховатость поверхности  $Ra = 0,80$  мкм. Поле допуска наиболее точных ступеней центрального отверстия соответствует 7... 8-му квалитетам точности, шероховатость поверхности  $Ra = 0,32$  мкм.

Допустимые отклонения взаимного расположения поверхностей: радиальное биение шеек цапф (при установке детали в центрах) 0,05 мм; биение торцов относительно шеек цапф 0,03 мм на крайних точках; отклонение от



перпендикулярности осей ступеней центрального отверстия относительно торца диска 0,05 мм на длине 100мм.

При изготовлении детали необходимо обеспечить расположение осей отверстия и цапф в одной плоскости (допустимое отклонение 0,1 мм). Расстояние между торцом цапфы и точкой пересечения осей цапф с отверстием выдерживают с отклонениями  $\pm 0,1$  мм.

Поворотный кулак изготавливают из стали 45. В качестве заготовки используют поковку, полученную горячей объемной штамповкой. Поковка четвертой степени сложности. Так как для поверхности поворотного кулака назначают большие припуски на механическую обработку и кузнечные напуски, коэффициент использования металла низкий и составляет 0,3. До механической обработки заготовки подвергают отжигу или нормализации (НВ 228), после черновой обработки - улучшению (НВ 241... 285). Это позволяет уменьшить остаточные напряжения и улучшить обрабатываемость поковок.

В серийном производстве деталь обрабатывают по следующему маршруту:

- 1) обработка технологических баз (фрезерование торцов цапф и сверление центровых отверстий кулака);
- 2) черновая токарная обработка поверхностей короткой, а затем длинной цапфы, черновая обработка отверстия и торцов диска центральной части;
- 3) разметка и фрезерование поверхностей диска около цапф;
- 4) промежуточный контроль;
- 5) термическая обработка - улучшение (НВ 242.. .285);
- 6) чистовая токарная обработка поверхностей короткой, а затем длинной цапфы;
- 7) сверление отверстий сначала центральных, далее поперечных в короткой и длинной цапфах;
- 8) промежуточный контроль;
- 9) термическая обработка (закалка с нагревом ТВЧ шеек на цапфах, глубина слоя 1,8...3,3 мм; у обработанной детали глубина слоя 1.5... 3,0 мм, твердость не менее 58 НКСэ);

- 10) обработка отверстий и протачивание фасок (установочных поверхностей) в короткой и длинной цапфах;
- 11) обтачивание конуса на длинной шейке;
- 12) шлифование шеек на цапфах;
- 13) чистовая токарная копировальная обработка отверстия и торцов диска центральной части;
- 14) токарная обработка отверстия диска с другой стороны;
- 15) фрезерование поверхностей диска;
- 16) сверление отверстий в торцах диска и поперечных отверстий;
- 17) зенкерование и развертывание двух технологических отверстий в диске;
- 18) зенкование фасок и нарезания резьбы в отверстиях диска;
- 19) разметка и фрезерование шлицев;
- 20) токарная обработка не основных поверхностей длинной цапфы с нарезанием резьбы;
- 21) развертывание и нарезание конической резьбы в отверстии длиной цапфы;
- 22) мойка, окончательный контроль и нанесение клейма на готовую деталь.

Как уже указывалось, цапфы поворотного кулака обрабатывают как ступенчатые валы.

*Технологические базы* — торцы цапф и центровые отверстия обрабатывают одновременно с двух сторон на фрезерно-центровальном двухпозиционном полуавтомате. При токарной обработке наружных поверхностей цапф исходную заготовку устанавливают в центрах токарно-винторезного станка. После черновой обработки заготовки точность обработки наружных поверхностей цапф соответствует 12... 13-му квалитетам точности; при чистовой обработке - 11-му квалитету точности. При обработке центральных отверстий в цапфах заготовку устанавливают в патроне с сырыми кулачками (перед обработкой их растачивают до диаметра шейки заготовки) и на люнете.

При шлифовании шеек цапф на круглошлифовальном станке кулак устанавливают в центрах. Наиболее специфичными являются операции обработки отверстия и торцов диска центральной части кулака. При этом черновую и чис-

товую, обработку выполняют на токарно-карусельном станке. Исходную заготовку устанавливают в призмы по шейкам цапф с базированием по оси и торцу на длинной цапфе. Угловую фиксацию диска осуществляют с помощью двух одновременно подводимых к торцу опор. Точность установки в таком приспособлении в значительной степени определяется точностью обработки установочных поверхностей, поэтому перед чистовой обработкой отверстия шлифуют шейки и торцы цапф.

*Чистовую обработку* выполняют по копирам тремя резцами. Сначала обрабатывают торец диска. Растачивание отверстия выполняют в два перехода: получистовая обработка и чистовая обработка. При фрезеровании поверхностей, сверлении отверстий в диске используют приспособления с установочным пальцем. В качестве базы используют точно обработанное центральное отверстие и торец диска. Отверстия в диске сверлят на вертикально-сверлильных станках с многошпиндельными головками. При обработке поворотных кулаков контроль проводят после каждой операции. Также проводят промежуточный (перед термической обработкой) и окончательный контроль детали. Это позволяет своевременно установить нарушения в технологическом процессе и принять меры по повышению точности обработки.

Соответствие действительных размеров, отклонений расположения поверхностей требованиям чертежа контролируют с помощью скоб, эталонов, шаблонов, пробок и специальных контрольных приспособлений.

Контрольные вопросы для самоподготовки.

1. Что является конструктивной особенностью деталей этого типа дисков?
2. Назовите материалы и методы получения заготовок.
3. Перечислите типовые схемы обработки заготовок.
4. Перечислите технологический процесс изготовления поворотного кулака.
5. Какие требования предъявляют к размерам посадочных шеек цапф под подшипники?
6. Что такое технологические базы?
7. Как выполняют чистовую обработку ?

## ГЛАВА 14

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

#### 14. 1. Характеристика зубчатых колес

Зубчатые передачи служат для передачи вращательного движения между параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями валов, а также для преобразования вращательного движения в поступательное. Высокий КПД, компактность конструкции, возможность передавать силы практически под любым углом, с большим диапазоном скоростей и передаточных чисел обусловили их широкое применение. В зависимости от взаимного расположения осей валов и формы зубьев различают цилиндрические, конические и червячные передачи. Цилиндрические зубчатые передачи внешнего зацепления составляют в конструкциях машин до 80% общего количества передач.

Существуют еще целый ряд специальных передач с целью значительного повышения передаточного числа с одновременной плавной и бесшумной работой передачи. К ним относятся гипоидные и спироидные передачи с применением конических зубчатых колес.

*Зубчатая передача* обычно состоит из сопряжения двух деталей, одна из которых имеет большее число зубьев, другое меньшее. Элемент зубчатой передачи, имеющей меньшее число зубьев, называют шестерней, а элемент с большим числом зубьев - колесом. Когда речь идет только о зубчатой детали, то данную деталь можно называть и шестерней, и колесом.

*Зубчатые колеса* транспортных и технологических машин работают, в большинстве случаев, в условиях переменных и ударных нагрузок. Силовые агрегаты трансмиссии передают мощность при значительных крутящих моментах, создавая нагрузки до 1000 Н на 1 мм длины зуба. Окружные скорости зубчатых колес у этих машин могут достигать свыше 25 м/с, что требует высокой точности их изготовления.

Зубчатые колеса являются одними из ответственных деталей машин, определяющих их надежность. Поэтому к конструкции, материалу и процессу изготовления таких колес предъявляются жесткие требования.

## 14.2. Конструктивные особенности зубчатых колес.

Наиболее часто встречающиеся конструкции зубчатых колес (рис. 14.1) можно разделить на: Цилиндрические: - одновенцовые колеса с плоскими торцами (тип а, б); -одновенцовые с выточками в торце (тип в);

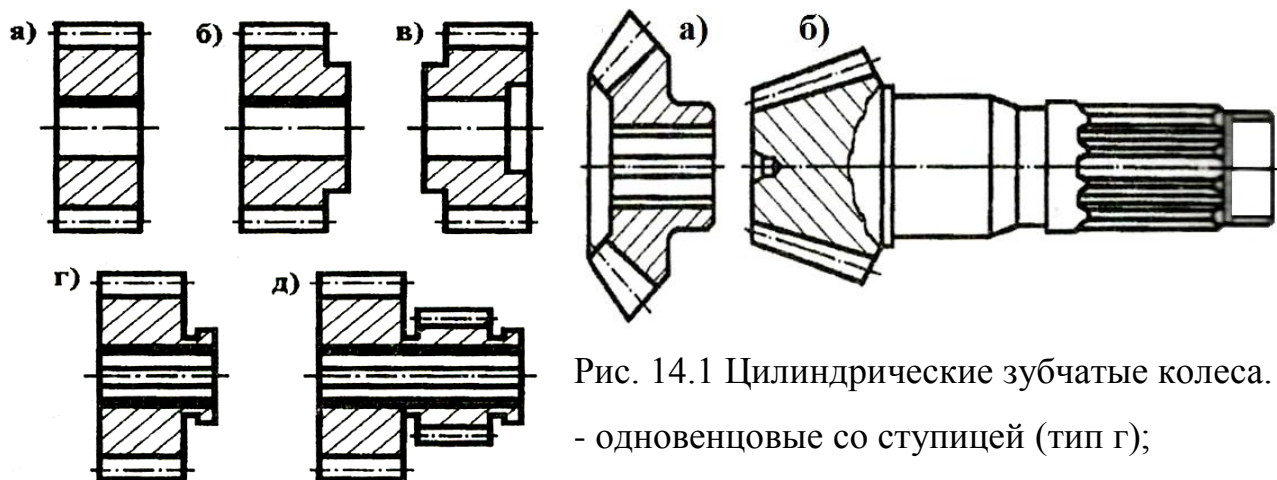


Рис. 14.1 Цилиндрические зубчатые колеса.

- одновенцовые со ступицей (тип г);

- многовенцовые блочные(тип д).

По форме зуба цилиндрические колеса разделяют на прямозубые, косозубые, шевронные и винтовые. Конические колеса изготавливают венцовыми без ступицы или со ступицей (тип а) и с валом (тип б). По форме зуба конические колеса бывают прямозубые и с криволинейными (круговыми) зубьями. У прямозубых колес зубья при своем продолжении пересекают ось колеса. Эти колеса просты для изготовления и сборки. Их применяют для передачи небольших крутящих моментов с окружными скоростями до 10 м/с.

У колес с криволинейными зубьями ось ведущей шестерни совпадает с осью ведомого колеса. Вследствие кривизны зубьев при зацеплении обеспечивается непрерывный контакт одновременно на нескольких зубьях. Они способны передавать крутящие моменты примерно на 30% выше, чем прямозубые конические колеса и с окружной скоростью до 40 м/с.

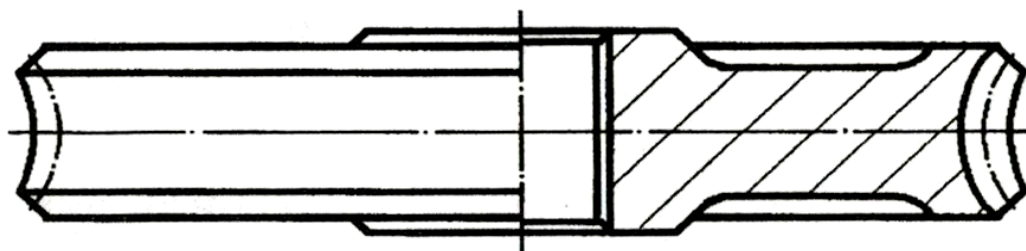


Рис. 14.2 Червячное колесо.

Червячное зубчатое колесо (рис. 14.2) изготавливают или цельным для малых размеров червячных пар, или сборным со вставным венцом.

### 14.3. Материал зубчатых колес

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготавливаются из углеродистых, легированных сталей, стального и чугунного литья, из сплавов цветных металлов, а также из неметаллических материалов.

Для цилиндрических и конических колес применяют:

а) конструкционные и легированные стали, подвергаемые закалке или нормализации, марок ст. 40, 45, 50, 35Х, 40Х, 40ХМ, 50С2Г, 30ХГС и др.;

б) легированные цементуемые стали марок 15, 20Х, 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 12ХНЗА и ряд других. Глубина слоя цементации 0,7...1,2 мм. После цементации, закалки и отпуска зубья колес обладают высокой твердостью (58...62 НКСэ) и вязкой сердцевиной.

в) легированные стали, подвергаемые азотированию, в основном, марок 35ХНЮА, 38ХМЮА;

г) стальное литье из углеродистой стали марок 40Л, 30Л, 40ГЛ и др.;

д) серый чугун марок СЧ15, СЧ24, СЧ28, СЧ31;

е) текстолит, капрон и другие неметаллические пластмассовые материалы.

Чугунные колеса и колеса из неметаллических пластмассовых материалов применяются для малонагруженных зубчатых передач.

Материал зубчатых колес должен обладать однородной структурой и обеспечивать стабильность размеров после термической обработки, особенно по размеру отверстия и шагу.

Для изготовления червячных зубчатых колес применяют бронзу, в основном марок Бр.ОФ10-1 и БР.АЖ9-4, биметаллические отливки этих бронз (бронза залитая на стальную отливку) и антифрикционный чугун. Червяки изготавливают из стали 15, 12ХН2 и некоторых других сталей.

#### 14. 4. Способы получения заготовок зубчатых колес

Заготовки из металла для зубчатых колес получают: из проката, свободной ковкой, штамповкой, литьем и прессованием. Из неметаллических материалов - литьем и из полуфабрикатов.

Заготовки из проката применяются для колес, имеющих простую конфигурацию в виде диска, диаметром до 80 мм. Заготовки, получаемые свободной ковкой на молотах, используются в единичном и мелкосерийном производстве. Хотя они по конфигурации не соответствуют форме готовой детали, но за счет оптимальной структуры металла и его расположения, успешно используются при изготовлении колес для ответственных передач.

Несмотря на ряд преимуществ штамповки, которая широко применяется в серийном и массовом производстве, ковка в условиях единичного и мелкосерийного производства экономически более целесообразна за счет использования универсального инструмента и оборудования. Свободной ковкой изготавливают заготовки диаметром более 300 мм, так как получение таких больших заготовок штамповочными средствами требует специального оборудования.

В серийном производстве получают заготовки в открытых штампах, а в крупносерийном и массовом - в закрытых штампах.

*Основной способ штамповки* - горячая штамповка. Заготовки, полученные в закрытых штампах ближе по форме к готовой детали. В основном штамповка заготовок для колес осуществляется на прессах, реже на молотах. На прессах можно штамповать заготовки с прошиванием отверстия, если его диаметр выше 30 мм а длина не более трех диаметров.

Заготовки для многовенцовых и колесо-вал изготавливают на горизонтально-ковочных машинах.

Поковки из малоуглеродистой стали подвергают нормализации, а из среднеуглеродистых и легированных сталей - изотермическому отжигу с последующим улучшением или закалкой зубьев. После изотермического отжига поковки имеют крупнозернистую ферритно-перлитную структуру с

твердостью HB 156...207. За последние годы все шире используется поперечно-клиноватая прокатка круглыми валиками или плоскими плашками при получении заготовок для цилиндрических колес, которая обеспечивает экономию металла на 10...15 % по сравнению с штамповкой на молотах и прессах.

Заготовки из чугуна и цветных металлов (реже из сталей) получают литьем. Литые заготовки размером до 200 мм по диаметру получают литьем в кокиль или под давлением, реже в песчаную форму. Заготовки размером более 200 мм - в песчаную форму. Червячные колеса получают только литьем.

За последние годы стали использовать зубчатые колеса, полученные методом порошковой металлургии - колеса опекают из порошковых смесей в закрытых штампах. При этом методе получают большую экономию металла, отходы составляют до 5%, а не 30.. .40%, как при обработке резанием.

#### **14. 5. Технологические задачи изготовления зубчатых колес**

При изготовлении зубчатых колес необходимо решить следующие технологические задачи, обеспечивающие:

- 1) точность размеров колеса;
- 2) точность взаимного расположения осей и поверхностей колеса;
- 3) оптимальные схемы базирования заготовки при нарезании зубьев;
- 4) качество поверхностного слоя.

1. Точность размеров зубчатых колес определяется допусками в соответствии с ГОСТ 1643 на цилиндрические колеса, в соответствии с ГОСТ 9178 на конические колеса и в соответствии с ГОСТ 3675 на червячные передачи.

Кроме того, установлены 12 степеней точности, определяющие нормы кинематической точности, плавности работы колеса и контакта боковых поверхностей зубьев сопряженных колес. Показатели, характеризующие нормы точности, могут быть комплексными или дифференцированными. Зубчатые колеса целесообразно контролировать по комплексным показателям. Это объясняется тем, что все элементы зубчатых колес в значительной мере взаимосвязаны, и в производственных условиях нет необходимости по элементам контролировать все показатели. Для зубчатых колес, применяемых в транс-



портных и технологических машинах, наиболее широкое применение находят колеса 6...9-й степени точности.

Самыми точными размерами зубчатого колеса должны быть посадочные поверхности (гладкое отверстие, шпоночный паз, шлицы), которые выполняются по 7-му качеству для колес 6... 7 степени точности и по 8..9 качеству для колес 8-й и ниже степени точности.

2. Основные требования к взаимному расположению осей и поверхностей зубчатого колеса таковы: несоосность начальной окружности колеса относительно посадочных поверхностей допускается не более 0,05... 0,1 мм; биение торцов не более 0,01... 0,015 мм на 100 мм диаметра; радиальное биение поверхности вершин зубьев относительно оси отверстия не более 0,25 Тн (Тн - допуск на смещение исходного контура), когда окружность выступов (De) используется для контроля толщины зуба, например, при контроле смещения исходного контура.

3. Выбор базовых поверхностей заготовок в операции при нарезании зубьев зависит от конструктивных форм зубчатых колес и технических требований.

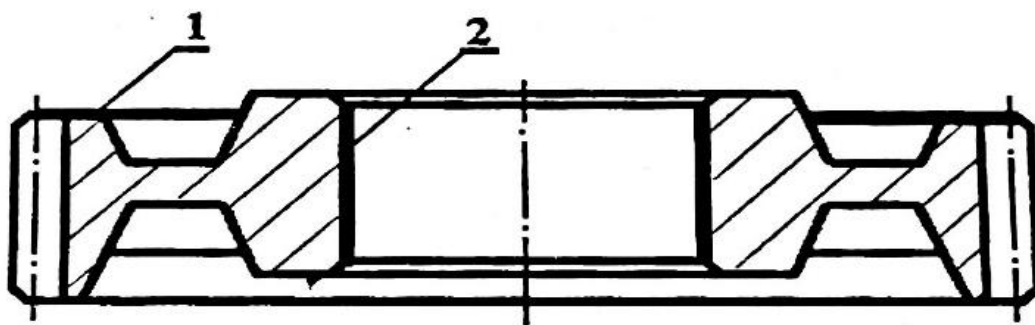


Рис. 14.3 Схема базирования шестерни для обработки.

У одновенцовых и многовенцовых цилиндрических колес с достаточной длиной центрального отверстия ( $L/D > 1$ ) в качестве технологических баз используются отверстие 1 и торец 2 (рис. 14.3). Если соотношение  $L/D < 1$ , то зубонарезание производится пакетом колес. При шлицевом отверстии у колеса он центрируется по внутреннему диаметру шлиц на гладкой оправке.

Влияние базирования на точность изготовления зубчатого колеса показано на рис. 14.4 а,б. Неправильно производить базирование заготовки по торцу зуб-

чатого венца, а зажим за торец ступицы (рис. 14.4, а), так как в этом случае происходит изгиб заготовки. При обработке зубьев базирование и зажим заготовки следует производить по торцам зубчатого венца (рис. 14.4 б).

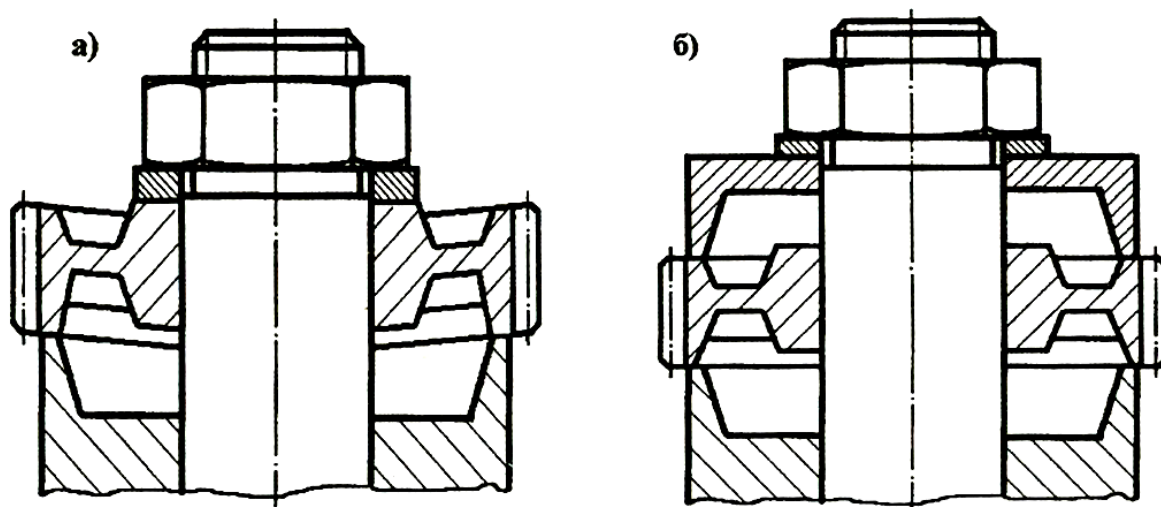


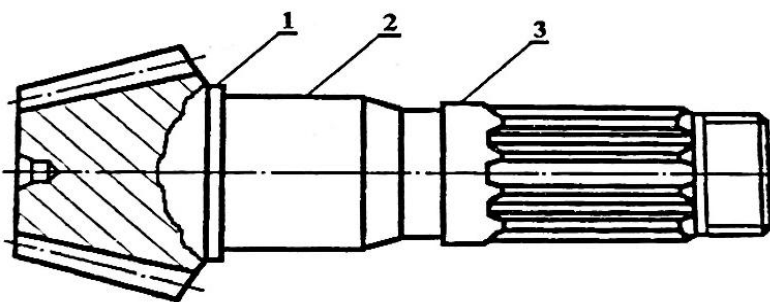
Рис. 14.4 Влияние базирования на точность изготовления колеса.

У колес-валов с модулем до 6 мм в качестве технологических баз используют центровые отверстия на торцах вала. Колеса с большим модулем и большой длины базируют по посадочным шейкам с упором в торец, при необходимости используя люнеты.

На первых операциях черновыми технологическими базами являются наружные необработанные "чёрные" поверхности. С помощью этих баз обрабатываются центральное отверстие и один из торцов, которые затем принимают в качестве технологической базы на большинстве операций. Колеса с нарезанными зубьями после упрочняющей термообработки при операции шлифования центрального отверстия и торца (для исправления технологических баз в результате коробления после термообработки) базируют по эвольвентной боковой поверхности зубьев. Данный способ базирования обеспечивает наибольшую соосность начальной окружности и оси отверстия, а также равномерный съём металла с боковых поверхностей зубьев при их последующей отделке с базированием по отверстию на оправке.

Конические колеса-диски базируются по посадочному отверстию и опорному торцу. Конические колеса-валы (рис 14.5) базируются на две посадочные шейки 2 и 3 и опорный торец 1

Базирование по одной шейке 2 не допускается. У конических колес со ступицей и шлицевым отверстием за технологические базы принимают шейку ступицы и торец. 4. Твердость рабочих поверхностей у незакаленных зубьев обычно находится в пределах НВ 180...270, у



закаленных зубьев из углеродистых и легированных сталей – НКСэ 48...60.

Рис. 14.5 Схема базирования конических зубчатых колес.

Твердость зубьев цементируемых колес должна быть в пределах НКСэ 45...60 при глубине слоя цементации 1...2 мм, а при цианировании НКСэ 42...55 при глубине слоя 0,5...0,8 мм.

Шероховатость поверхности зубчатого венца должна быть не более 1,6 мкм (по Ra), отверстия и торцов - 1,25 мкм, а эвольвентный профиль зуба - 0,4 мкм.

#### 14. 6. Технология изготовления цилиндрических колес

Изготовление зубчатых колес разделяется на три этапа:

- 1 обработка заготовки до зубонарезания;
- 2 нарезание зубьев и
- 3 отделочные операции.

Наибольшее влияние на протяженность технологического маршрута сказывает степень точности колеса. При изготовлении высокоточных зубчатых колес (6, 5 и выше степеней точности) механическая обработка должна чередоваться с операциями термической обработки для снятия внутренних напряжений Одновременно возрастает число отделочных операций поверхностей, используемых в качестве технологических баз.

Типовая технология изготовления самой простой по конструкции цилиндрического дискового (одновенцового) колеса 7-й степени точности состоит из следующих операций. Заготовки прокат или штампованная заготовка.

1. Токарная операция.

Точить наружную поверхность начерно, точить торец начерно, расточить

(если оно было в заготовке, а если нет, то сначала сверлить) отверстие начерно, зенковать фаску. Точить второй торец, расточить отверстие окончательно под протягивание, зенковать фаску.

2. Плоскошлифовальная операция.

Шлифовать торцы последовательно с двух сторон.

3. Протяжная операция.

Протянуть отверстие под шлифование.

4. Токарная операция.

Точить наружную поверхность начисто (заготовка устанавливается на оправку).

5. Зубофрезерная операция.

Фрезеровать зубья начерно и начисто.

6. Протяжная операция (протягивание шпоночного паза или шлицев).

Протянуть шпоночный паз или шлицы.

7. Зубошевинговальная операция.

Шевинговать зубья.

8. Термическая операция.

Калить заготовку или только зубья (согласно техническим требованиям чертежа).

9. Внутришлифовальная операция.

Шлифовать отверстие и торец.

10. Зубошлифовальная операция.

Шлифовать зубья.

11. Операция мойки.

12. Контрольная операция.

Наличие упрочняющей термообработки приводит, как правило, к снижению степени точности на одну единицу, что требует введения дополнительной отделочной операции.

Для не закаливаемых зубчатых колес шевингование является последней операцией. Перед термообработкой зубья шевингуют для уменьшения их деформации и всего колеса в процессе термообработки.

Токарная операция для обработки цилиндрических зубчатых колес производится:

- в единичном производстве на универсальном токарно-винторезном станке;
- в мелко и серийном производстве - на токарно-револьверном станке;
- а в крупносерийном и массовом производстве - на одношпиндельном или многошпиндельном токарном полуавтомате.

Нарезание зубьев у цилиндрических колес производится двумя методами: копирование и обкатка. При нарезании зубьев по методу копирования используется дисковая модульная или модульная концевая фреза. Данная операция производится на обычных универсально-фрезерных станках в единичном производстве или на специальных зуборезных станках в мелкосерийном производстве. Операция малопродуктивная, позволяет нарезать только зубья невысокой степени точности. Погрешность обработки при данном методе нарезания зубьев определяется не- точностью делительных приспособлений поворота заготовки на один зуб, погрешностью установки фрезы относительно заготовки и неточностью профилирования боковой поверхности зуба, связанной с конструкцией данных фрез. В массовом производстве для нарезания зубьев по методу копирования применяют зубодолбежные резцовые головки. Это высоко производительная операция, так как одновременно нарезаются все зубья - число резцов равно числу зубьев нарезаемого колеса (форма резца аналогична форме впадины зуба).

Например, время нарезания зубчатого колеса с числом зубьев  $Z = 24$  и модулем 5 составляет 24 с. Зубодолбление производится на специальных зубодолбежных станках, на которых можно обрабатывать прямозубые цилиндрические колеса внешнего и внутреннего зацепления, а также косозубые колеса. Резцовая головка неподвижна, а заготовка совершает поступательное движение (рис 14.6). При входе заготовки I в головку радиально расположенные резцы 2, установленные в специальном корпусе 3, снимают первый слой металла; при обратном ходе заготовки резцы расходятся и не касаются обрабатываемых поверхностей. При очередном входе заготовки резцы сходятся

«центру, углубляясь в заготовку на величину подачи, и вновь снимают слой металла. Такие движения повторяются до тех пор, пока не будут полностью нарезаны зубья на полный профиль. В процессе резания величина подачи переменная: вначале около 0,4 мм/ход, а к концу уменьшается до 0,025 мм/ход.

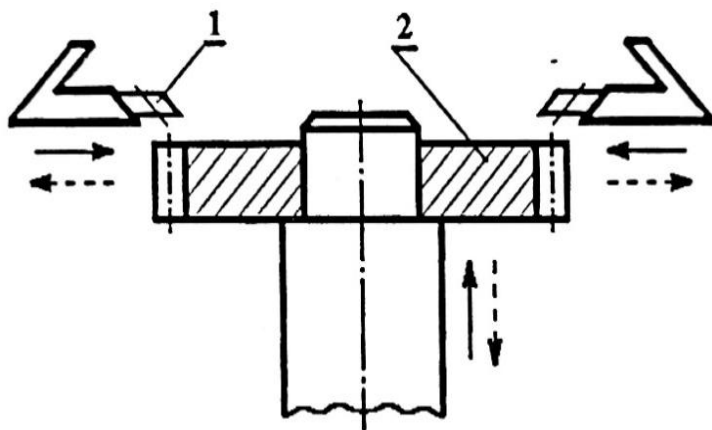


Рис. 14.6 Схема зубодолбления резцовыми головками.

Существующие конструкции головок предназначены для зубодолбления колес с модулями от 2 до 10,5 мм при числе нарезаемых зубьев 20... 50.

Недостатком данного процесса является зависимость, точности размеров зубьев (степень точности колеса) от точности

изготовления резцовой головки. На ряде предприятий применяется операция протягивания как наружных, так и внутренних зубчатых поверхностей методом копирования. Несмотря на то, что данный технологический процесс характеризуется высокой производительностью, но широкому его распространению препятствует еще достаточно высокая стоимость оборудования и инструмента.

Нарезание зубьев по методу обкатки осуществляется в процессе совместного согласованного движения червячной фрезы (режущего инструмента) и заготовки, воспроизведя движение зубчатой пары (зубчатой или червячной передачи). Данный метод обеспечивает высокую производительность и качество обработки (не ниже 8-й степени точности). Червячной фрезой (рис. 14.7) можно фрезеровать прямозубые зубчатые колеса с модулем до 40 мм и косозубые колеса с модулем до 20 мм.

Фрезой одного модуля и угла зацепления можно нарезать зубья у колес любых диаметров и обеспечивать при этом достаточную точность эвольвентной поверхности зуба и заданную шероховатость поверхности. Червячные фрезы выполняют как черновую, так и чистовую обработку. Зубчатые колеса с модулем до 5 мм нарезаются за один проход, более 5-ти мм - за два рабочих хода.

При двойном рабочем ходе операция подразделяется на черновую и чистовую. Глубина резания при чистовом нарезании зубьев составляет 0,5... 1 мм. В результате малой глубины резания скорость резания и подача выше, чем при первом ходе.

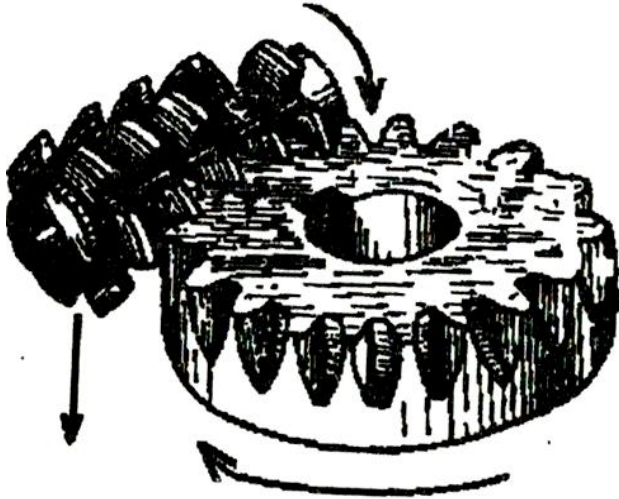


Рис. 14.7 Зубонарезание червячной фрезой.

Выбор скорости резания и подачи зависит от многих факторов: модуля, материала заготовки и режущей части фрезы, конструкции и жесткости фрезы и станка и т.д. С увеличением скорости резания режущие кромки фрезы изнашиваются больше, чем при повышении подачи.

Обычно при выборе скорости резания руководствуются желаемой стойкостью фрезы, а при выборе подачи - точностью обработки и параметром шероховатости обрабатываемой поверхности (с повышением подачи снижается точность размеров зуба и увеличивается параметр шероховатости поверхности).

Нарезание зубьев червячной фрезой может производиться тремя видами подач:

- фрезерование с осевой подачей;
- с радиально-осевой и с диагональной подачей.

При фрезеровании зубьев колеса с осевой подачей червячная фреза перемещается параллельно оси обрабатываемого колеса. Недостатком применения осевой подачи является большая длина врезания червячной фрезы.

При фрезеровании с радиально-осевой подачей червячная фреза в начале резания и до получения полной высоты зуба перемещается радиально. Затем радиальная подача выключается и включается осевая. Этот способ зубофрезерования применяется на специальных зубофрезерных станках стандартными фрезами.

При радиальной подаче резко возрастает нагрузка на режущие кромки червячной фрезы и, следовательно, происходит их повышенный износ. Поэтому радиальную подачу устанавливают на 30...50% меньше осевой. Способ фрезерования зубьев колес с радиально-осевой подачей экономичен при фрезеровании колес с большим углом наклона зубьев и при работе с червячными фрезами большого диаметра, что не часто встречается. Поэтому в обычных условиях обработки применяют фрезерование с осевой подачей.

Фрезерование с диагональной подачей осуществляют на специальных станках. Червячная фреза перемещается под углом к оси обрабатываемого колеса. Данная подача применяется в крупносерийном и массовом производстве для обработки колес с широкими венцами, при фрезеровании пакета заготовок и заготовок с повышенной твердостью материала. Недостатком применения диагональной подачи является использование нестандартных фрез; они должны быть длинными и высокоточными.

Для повышения производительности процесса зубофрезерования применяют одновременную обработку пакета заготовок, предварительную обработку колес многозаходными фрезами, скоростное фрезерование с применением твердосплавных режущих пластин.

Погрешность обработки зубчатых колес при нарезании червячными фрезами складывается из погрешности станка (неточность кинематической цепи станка, радиальное и осевое биение фрезерной оправки), погрешности инструмента и погрешности его установки. Радиальное биение центрирующей части и торцовое биение опорной плоскости оправки для базирования заготовки должно быть не более 0,02 мм.

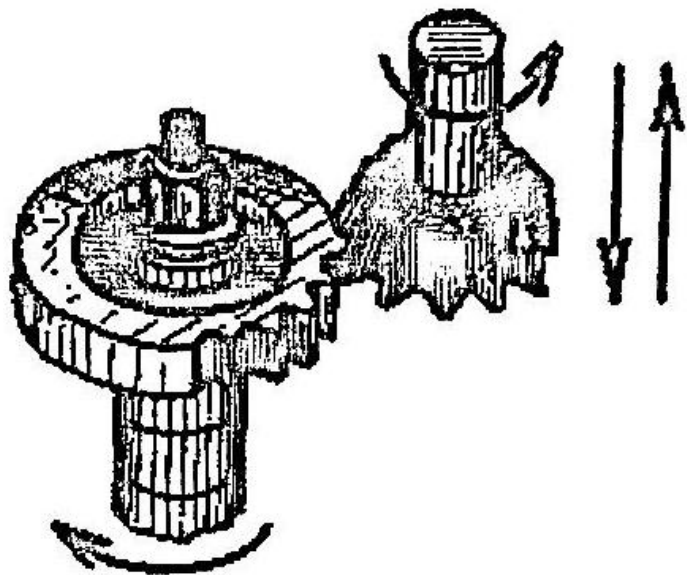


Рис. 14.8 Схема зубодолбления.



Довольно часто встречаются конструкции колес, у которых зубья близкорасположены к буртикам или соседними венцам блочного колеса. Для получения зубьев в этих случаях применяется операция зубодолбление, которая производится на специальных зубодолбежных станках. Режущим инструментом является круглый долбяк (рис. 14.8) с режущими элементами (зубьями), имеющими эвольвентный корригированный профиль. Нарезание зубьев происходит по методу обкатки, т.е. долбяк и заготовка взаимно вращаются.

*Зубодолбление применяется* главным образом для нарезания с прямыми и косыми зубьями колес с малым модулем (не более 6 мм), а также для нарезания колес при малых и средних диаметрах с внутренним зацеплением. Обработка зубчатых колес за один рабочий ход производится при модуле ( $t$ ) колеса до 2 мм, при  $t = 3...4$  мм - два рабочих хода и при  $t$  более 4 мм - три рабочих хода.

Нарезание косозубых колес отличается от нарезания прямозубых колес тем, что по мере возвратно-поступательного движения долбяк получает дополнительный поворот от специального копира с винтовыми направляющими (при обработке прямозубых колес направляющие копира прямолинейные). Для нарезания косозубых колес внешнего зацепления долбяк должен быть также косозубым. При обкатке долбяк и заготовка вращаются в разных направлениях. При нарезании косозубых колес внутреннего зацепления долбяк и заготовка вращаются в одном направлении. Точность изготовления зубчатых колес круглыми долбяками класса АА - 6-я степень, класса А - 7-я степень и класса В - 8-я степень.

Для нарезания высоко точных зубчатых колес используют зуборезные гребенки, которые более точные инструменты, чем червячные долбяки. При нарезании колеса (рис. 14.9) гребенка 1, на ползуне станка, имеет возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости относительно нарезаемого колеса 2.

Движение обкатывания выполняется только нарезаемым колесом, совершающим два взаимно согласованных движения вращательное  $L$  вокруг своей оси и поступательное  $B$  параллельно гребенке.

Зубья колеса нарезаются только во время прямого хода сверху вниз, при обратном ходе гребенка отводится от заготовки в избежание затупления зубьев и повреждения обработанной поверхности зубьев колеса. После нарезания одного или нескольких зубьев нарезаемое колесо автоматически возвращается в исходное положение, перемещаясь параллельно гребенке (но не вращаясь), затем цикл нарезания возобновляется и продолжается до тех пор, пока не будут нарезаны все зубья колеса.

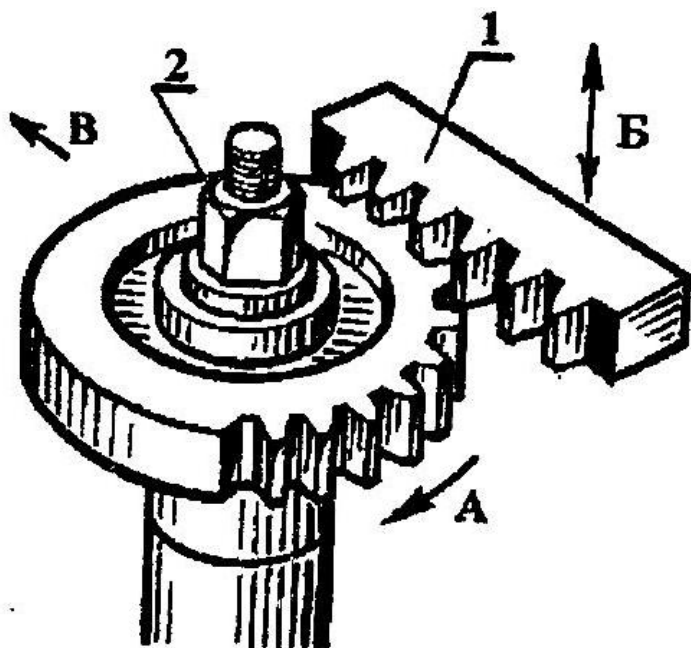


Рис. 14.9 Зубонарезание гребенкой.

Основной недостаток данного метода нарезания колес - малая производительность из-за цикличности процесса.

#### 14.7 Отделочные операции для зубьев цилиндрических колес

Зубозакругление на торцах зубьев применяют для облегчения входа в зацепление и повышение срока службы переключаемых на ходу колес. Для получения радиусного округления обычно применяют фасонную пальцевую фрезу (рис 14.10, а). Этот метод широко используется в серийном производстве, но производительность и стойкость инструмента низкие. В крупносерийном и массовом производстве применяются фасонные чашечные фрезы, работающие с большой производительностью и обладающие высокой стойкостью (рис 14.10, б).

*Чашечные фрезы* с прямолинейными режущими кромками производят остроугольное округление зубьев типа "крыши домика" обеспечивающее легкий и плавный вход в зацепление.

Операция зубозакругления в технологическом маршруте следует сразу же после зубофрезерования.

В процессе зубофрезерования и зубодолбления на торцах зубьев образуются острые кромки и заусеницы, которые ухудшают качество зацепления, приводят к сколам острых кромок. Для снятия фасок и удаления заусенцев с торцов цилиндрических колес созданы высокопроизводительные

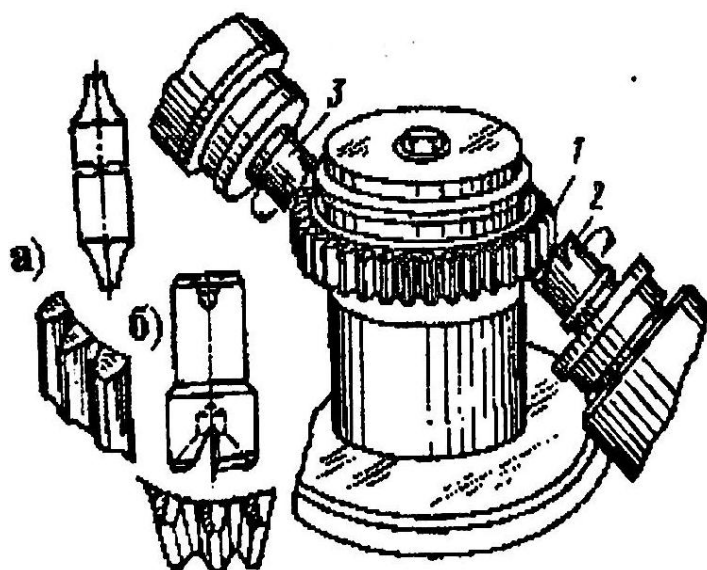


Рис. 4.10 Зубозакругление зубчатых колес.

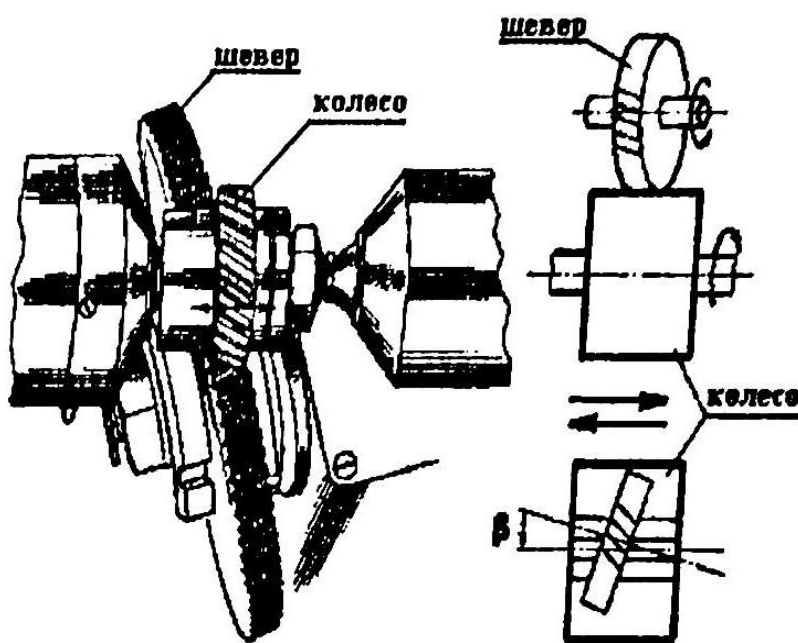
автоматы, которые снимают фаску по всему контуру параллельно профилю зуба.

*Зубошевингование* (шевингование) применяют для повышения точности зубчатого зацепления, уменьшения параметра шероховатости боковых поверхностей зубьев для незакаленных колес (твердостью максимум до HRCэ 40) как окончательную операцию и как промежуточную операцию перед закалкой зубьев токами высокой частоты (ТВЧ) или всего колеса. Шевингованием можно повысить точность зубьев на 1...2 степени. Точность шевингованных зубчатых колес достигает 6... 8 - й степени, параметр шероховатости боковой поверхности зуба  $Ra = 0,8.. .0,2\text{мкм}$ .

*Шевингование колес* (рис. 14.11) заключается в исправлении погрешности эвольвентного профиля зуба путем срезания с его боковых поверхностей тонких слоев металла толщиной по 0,001... 0,005 мм специальным инструментом - шевером.

*Шевер* представляет собой стальное закаленное зубчатое колесо с корригированными зубьями того же модуля, что и колеса, предназначенные для шевингования, т. е. для колес каждого модуля свой шевер. На боковых поверхностях зубьев шевера имеются канавки, расположенные в радиальном направлении, глубиной до 1 мм, которые образуют многочисленные режущие

кромки. Шевер для прямозубых цилиндрических колес имеет косые зубья, расположенные под углом  $\rho = 10... 15^\circ$  для обработки стальных колес и под углом



до  $20^\circ$  для обработки колес из чугуна и пластмассы.

В результате прижима шевера к обрабатываемому колесу с помощью подачи стола, на котором закреплено колесо, и относительного скольжения боковых поверхностей между ними, возникающего при

Рис. 14.11 Схема шевингования зубчатого колеса. пересечении осей, режущие кромки зубцов шевера при перемещении по поверхности зуба колеса внедряются в нее и снимают стружку с профиля зуба.

Существуют различные схемы процесса шевингования: параллельное, диагональное, тангенциальное и врезное. При параллельном шевинговании обрабатываемое колесо совершает возвратно-поступательное движение параллельно своей оси и в конце каждого реверсивного движения перемещается ступенчато к шеверу, увеличивая площадь контакта своих зубьев с зубьями шевера. Несколько последних возвратно-поступательных ходов совершаются без радиальной подачи (калибрующие ходы). При такой схеме шевингования ширина шевера не зависит от ширины зубчатого венца колеса. Практически этим способом можно обрабатывать зубчатые колеса любой ширины. Параллельное шевингование обычно применяется в мелкосерийном производстве, а при ширине зубчатого венца свыше 50 мм - в крупносерийном.

При диагональном шевинговании обрабатываемое колесо совершает возвратно-поступательные движения под углом  $35... 40^\circ$  относительно своей горизонтальной оси, что создаст более оптимальные условия резания и повышается качество обрабатываемых поверхностей. Так как при этом способе

ширина шевера зависит от ширины зубчатого венца колеса, то диагональное шевингование экономически выгодно применять для колес с шириной венца не более 50 мм. Данная схема шевингования широко применяется в серийном и массовом производстве.

*При тангенциальном шевинговании* отсутствует возвратно-поступательное движение обрабатываемого колеса, а имеется лишь незначительная подача колеса перпендикулярно своей оси. Ширина шевера должна быть больше ширины зубчатого венца колеса. Этот способ применяют для шевингования узких зубчатых венцов и блочных колес с закрытыми венцами.

*При врезном шевинговании* шевер перемещается к обрабатываемому колесу радиально без продольной подачи, обрабатывая одновременно всю поверхность зуба.

Ширина шевера больше ширины зубчатого венца колеса. Этот метод применяют в массовом производстве для шевингования колес с шириной венца до 40 мм и модулем до 5 мм.

Зубчатые колеса внутреннего зацепления шевингуют на специальных станках или на шевинговальных станках для колес с внешним зацеплением при наличии специального приспособления. Колеса с шириной зубчатого венца свыше 20 мм обрабатывают параллельным шевингованием, с шириной венца менее 20 мм или со ступицей, ограничивающей возвратно-поступательное движение ~ врезным шевингованием.

Для шевингования рекомендуется устанавливать припуски по толщине зуба из расчета на 1 мм модуля 0,01 мм, начиная с модуля 1 мм и припуска для этого модуля 0,05 мм. Таким образом, для колес модулем 5 мм припуск будет 0,09 мм, а для колес с модулем 8 мм припуск 0,12 мм и т.д. Чрезмерный припуск под шевингование снижает точность обработки, стойкость инструмента и увеличивает время операции. Окружная скорость резания шевера зависит от твердости обрабатываемого материала колеса, требуемого параметра шероховатости поверхности зубьев и размеров колеса. Наибольшая стойкость шевера

из быстрорежущей стали при скорости резания  $U_d = 100... 120$  м/мин. Частота вращения шевера:

$$n_{Ш} = \frac{1000 \cdot V_0}{z_{Ш} \cdot m \cdot \pi}, \text{ (об/мин)} \quad (14.1)$$

а частота вращения обрабатываемого колеса:

$$n_{К} = \frac{n_{Ш} \cdot z_{Ш}}{z_{К}}, \text{ (об/мин)} \quad (14.2)$$

где  $Z_{Ш}$  и  $Z_{К}$  - соответственно число зубьев шевера и колеса.

Радиальная подача при параллельном и диагональном шевинговании принимается в пределах 0,02... 0,06 мм/на ход стола.

Число ходов стола определяется как частное от деления припуска в радиальном направлении на радиальную подачу. Дополнительно осуществляют два-четыре калибрующих хода без радиальной подачи. Практически суммарное число ходов стола 6... 10. большем числе ходов стола стойкость шевера снижается.

Продольная подача стола станка в пределах 0,2... 0,6 мм/об обрабатываемого колеса. На точность шевингования влияет точность станка и оснастки. Биение наружного диаметра инструментального шпинделя не должно превышать 0,005... 0,01 мм, торца шевера - 0,010...0,015 мм, биение центрирующей шейки оправки не должно быть более 0,01 мм. В таблице 14.1 приведены средние допустимые отклонения зубчатых колес до и после шевингования.

К отделочным операциям незакаленных зубьев относится и операция обкатки зубчатых колес в холодном состоянии путем пластического деформирования гребешков поверхностного слоя профиля зубьев. Данная операция применяется для цилиндрических зубчатых колес только внешнего зацепления и только модулем до 4 мм. В процессе обкатки, обычно двумя накатниками в виде зубчатого колеса, накатники прижимаются к обрабатываемому колесу с усилием 0,5... 1,0 МПа. Время при обкатке составляет не более 1...2 мин. Для более равномерной обработки боковых поверхностей зубьев колесу сообщается реверсивное движение.

Таблица 14.1. Средняя точность (мм) зубчатых колес при зубофрезерований и шевингований.

Проверяемый параметр	Зубофрезерование перед шевингованием.	Шевингование
Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса.	0,04...0,08	0,015...0,040
Разность окружных шагов	0,02...0,04	0,005...0,025
Погрешность профиля зуба	0,02...0,04	0,007...0,015
Радиальное биение	0,04...0,08	0,030...0,050

Данная операция не применяется для обработки колес с большим модулем, так как в процессе обкатки не происходит равномерного контакта боковых поверхностей по высоте сопрягаемых зубьев обрабатываемого колеса и накатников.

Наибольший контакт достигается у вершины и ножки зубьев. В результате чего происходит неравномерное деформирование металла по высоте зуба, и как следствие этого, искажение эвольвентного профиля зуба.

Шлифование зубьев колес наиболее надежный метод их отделочной обработки, обеспечивающий высокую точность параметров зубьев. Однако для зубошлифования требуется сложное оборудование, а сам процесс сравнительно малопроизводителен. Как правило, зубошлифование применяется для закаленные зубьев.

Шлифование производится либо методом копирования или обкатки. На станках, работающих по методу копирования, зубья 2 шлифуют профилированными кругами 1 (рис 14.12), а точность профиля зуба зависит от точности профиля шлифовального круга и равномерности его изнашивания. Обработку производят сразу всего профиля впадины зубьев. Шлифовальный круг вращается

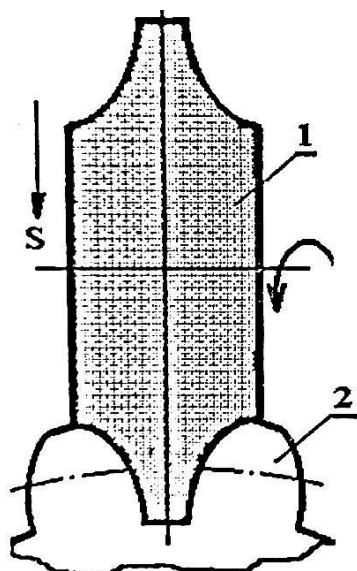


Рис. 14.12 Шлифование зубьев  
профильным кругом.

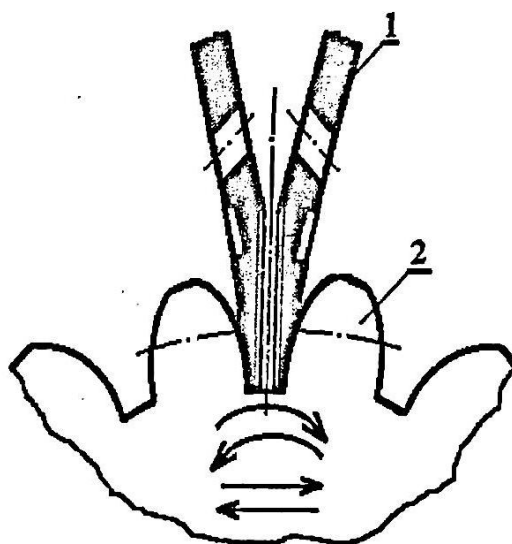


Рис. 14.13 Шлифование зубьев  
тарельчатыми кругами.

( $V_k = 30...35$  м/с) и совершает возвратно-поступательное движение вдоль впадины зуба со скоростью 8... 16 м/мин. Шлифуемое колесо после обработки одной впадины поворачивается на один зуб. Радиальная подача  $s$  сообщается шлифовальному кругу после полного оборота зубчатого колеса. Полный цикл обработки колеса осуществляется за 3...4 его оборота. Припуск под шлифование от 0,2 мм для колес модулем до 3 мм и 0,4 мм – модулем до 10 мм. Зубошлифование по методу копирования позволяет получать зубья 6...7-й степени точности и шероховатость поверхности зубьев до 0,32 мкм. По методу копирования можно шлифовать зубья и с внутренним зацеплением.

Шлифование по методу обкатки точнее шлифования по методу копирования, но производительность зубошлифовальных станков, работающих по методу обкатки, невелика. Боковые поверхности зубьев  $2$  обрабатываются шлифовальными тарельчатыми кругами  $1$  (рис 14.13). Движение обкатки складывается из двух движений: реверсивное вращения колеса вокруг своей оси и возвратно-поступательного движения. Круги имеют только вращательное движение. При шлифовании по методу обкатки точность обработки зубьев достигает 5-й степени точности.

Для повышения производительности процесса зубошлифования применяют специальные станки с червячными шлифовальными кругами. Производитель-



ность повышается из-за непрерывности процесса обработки. Этим методом можно шлифовать прямозубые и косозубые цилиндрические колеса. Червячному кругу (в виде одно- или двухзаходного червяка диаметром 300...600 мм) сообщают два движения: вращательное вокруг оси (движение резания) и периодическое радиальное движение (движение подачи). Обрабатываемое колесо вращается вокруг своей оси согласованно с вращением круга (движение обкатки) и совершает возвратно-поступательное движение (вертикальная подача) вдоль своей оси или вдоль направления зуба. Данный способ обработки зубьев обеспечивает точность до 4-й степени. Для повышения точности зубьев на 1...2 степени после зубошлифования применяют процесс зубохонингования. Как правило, зубохонингование используют для обработки закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления. Инструмент-хон представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо с прямыми или косыми зубьями, состоящее из стальной ступицы и пластмассового венца, пропитанного мелкозернистым абразивным порошком.

Кинематика хонингования примерно аналогична кинематике шевингования. Хон приводит во вращение обрабатываемое колесо, прижимаясь к нему с регулируемым усилием от 10 до 400 Н. Частота вращения хона 180... 200 мин<sup>-1</sup>. Колесо совершает дополнительно продольное возвратно-поступательное движение со скоростью 100...250 мм/мин. Обработка завершается за 2...6 продольных рабочих ходов. Охлаждающей жидкостью является керосин или индустриальное масло. Припуск на зубохонингование не оставляется, так как толщина снимаемого слоя металла находится в пределах допуска на толщину зуба.

Существует еще одна отделочная операция закаленных зубьев с применением абразивного порошка, находящегося в свободном состоянии. Это операция притирки зубчатого колеса с помощью абразивной пасты. Данный процесс позволяет снизить уровень звукового давления на 2...3 дБ, увеличить пятно контакта при сборке зубчатой передачи, повысить качество поверхности профиля зуба. Обрабатываемое колесо находится в зацеплении с симметрично

расположенными тремя притирами из серого чугуна. Ось одного притира параллельна оси обрабатываемого колеса, а оси других притиров расположены под углом  $2...5^\circ$ , что увеличивает скольжение зубьев притиров относительно зубьев колеса. Притиры совершают реверсивное вращение, чтобы исключить одностороннюю притирку боковой поверхности зуба. Основное время операции  $2...3$  мин.

#### 14.8. Контроль колес

Существует производственный и лабораторный контроль зубчатых колес. Производственный контроль осуществляется дифференцированно в процессе изготовления зубчатого колеса и комплексный после завершения операций зубообработки. При дифференцированном контроле, который осуществляется перед операцией зубонарезания, контролируются размеры и геометрия основных поверхностей колеса (диаметры отверстий, биение торцов и др.), и их взаимное расположение (несоосность, неперпендикулярность оси посадочного отверстия к торцам и т.д.). После операции зубонарезания проводится комплексная проверка размера зубьев, колебание межцентрового расстояния на оборот колеса и на шаг, припуск под шевингование или шлифование. Для этой цели используют приспособление для комплексного двухпрофильного (беззазорного) контроля (рис. 14.14).

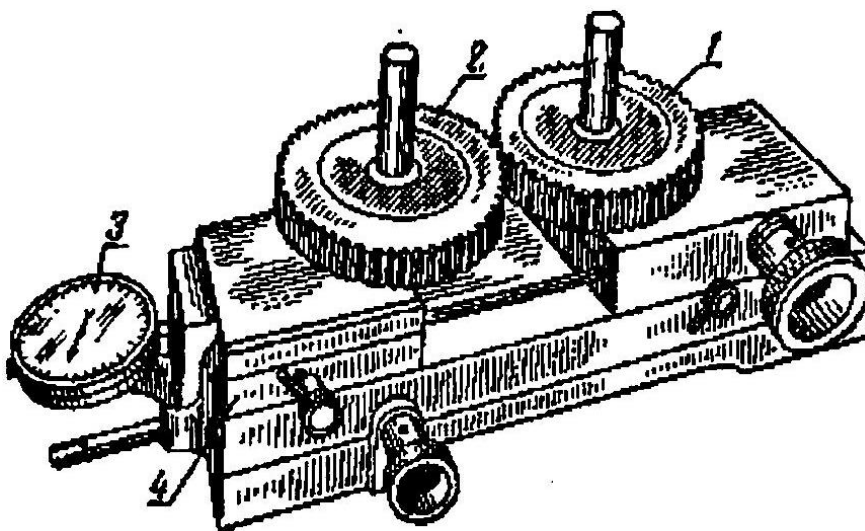


Рис. 14.14 Приспособление для комплексного контроля зубчатых колес.

зорного) контроля (рис. 14.14).

Колебание межцентрового расстояния характеризует суммарные погрешности зацепления, образуемые биением зубчатого венца, отклонениями шага, изменениями толщины зуба, измене-

ниями в профиле и угле комплексного контроля зубчатых колес.

Такому контролю подвергаются первые два-три зубчатых колеса с каждого станка в начале рабочей смены, после замены инструмента и подналадки станка, а также дополнительно 2...5% общего выпуска. По результатам проверки, если это необходимо, наладчик вносит изменения в наладку станков. После термической и финишных операций производится окончательный контроль зубчатого колеса для решения вопроса о его годности.

Лабораторный контроль зубчатых колес в количестве 2...5% от общего выпуска проводится в специальном помещении с целью управления точностью технологического процесса изготовления колес и устранения производственных неполадок. Лабораторный контроль осуществляется на специальных приборах с записью контролируемых показателей эвольвента/направление зуба, ошибки шага, радиальное биение зубчатого венца, колебание межцентрового расстояния, уровень шума, пятно контакта.

#### 14. 9. Технология изготовления конических колес

На рис 14.15 показан чертеж одной из наиболее распространенной конструкции конического прямозубого колеса.

Заготовка - прокат из конструкционной стали. Типовая маршрутная технология механической обработки получения данного колеса следующая. Заготовительная и термическая операции пропущены.

##### 005. Токарная операция

(токарный полуавтомат).

Подрезать торец 9 предварительно; точить поверхность 7 предварительно; сверлить, зенкеровать, развернуть отверстие 11; зенковать фаску 10.

##### 010 Токарная операция (то-

карный полуавтомат).

Подрезать торец 3 предварительно; точить конуса 2, 4 и 5 предварительно.

##### 015. Протяжная операция (горизонтально-протяжной станок).

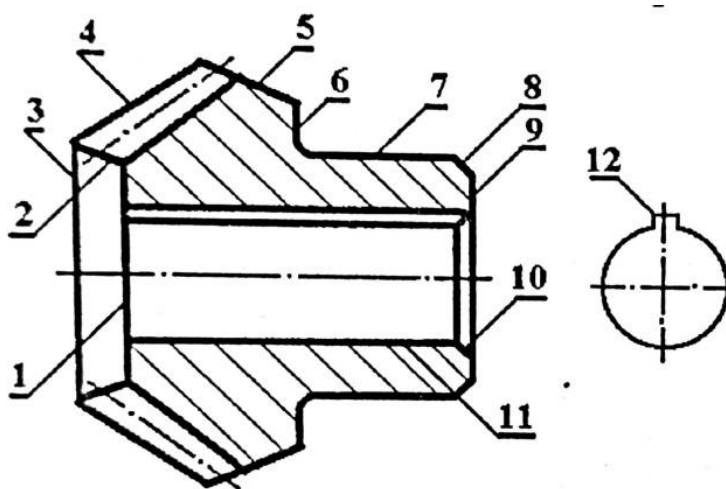


Рис. 14.14 Чертеж конического прямозубого колеса.

Протянуть шпоночный паз 12 окончательно.

020. Токарная операция (токарный полуавтомат).

Точить поверхность 7 окончательно; точить фаску 8; подрезать торец буртика 6; точить конуса 5, 2 и 4 окончательно; подрезать торец буртика 1.

025. зубострогательная операция (зубострогательный станок).

Строгать зубья под шлифование.

030. Операция зачистки (вибробункер).

Зачистить заусенцы на зубьях.

035. Шлифовальная операция (внутришлифовальный и плоскошлифовальный станки).

Шлифовать отверстие 11 окончательно; шлифовать торец ступицы 9 окончательно.

040. зубошлифовальная операция (зубошлифовальный станок).

Шлифовать зубья окончательно.

045. Операция мойки (моечная машина).

Промыть деталь.

050. Операция контроля

Контролировать размеры согласно техническим условиям и чертежа.

055. Нанесение антикоррозионного покрытия.

При изготовлении конических колес с прямыми зубьями наибольшее распространение получили три метода: - зубострогание; - зубофрезерование; - и зубопротягивание.

*Зубострогание* является наиболее простым, но менее производительным способом по сравнению с другими методами. Благодаря универсальности и несложной конструкции режущего инструмента он получил широкое распространение в единичном и серийном производстве.

Обработку зубьев производят на зубострогательных станках методом обкатки двумя резцами, производящих возвратно-поступательное движение - строгание (рис 14.16). Каждый резец обрабатывает свою сторону зуба. Совместно с обрабатываемым колесом резцам сообщают также движение обкатки.

Зубчатые колеса с модулем до 3 мм строгают за один рабочий ход; с модулем более 3 мм – за два рабочих хода. Степень точности зубьев 6.. 7-я, а шероховатость 2,0.. 1,6 мкм (по Ка).

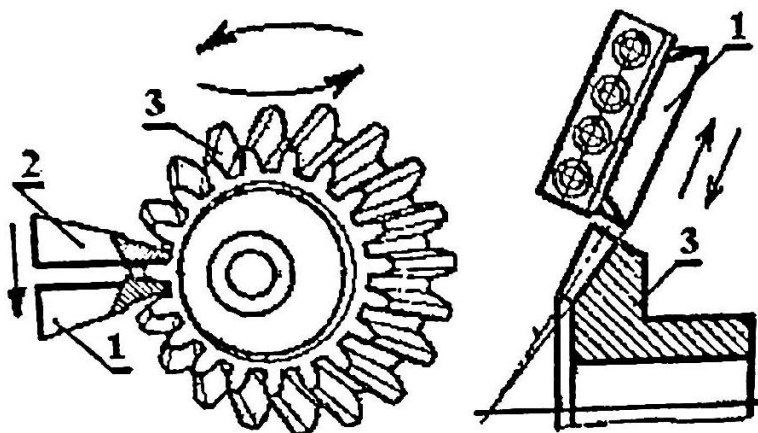


Рис. 14.16 Схема нарезания конических зубьев строганием.

Зубофрезерование характеризуется более высокой производительностью по сравнению с зубостроганием и применяется в основном в серийном производстве. Нарезание зубьев осуществляют двумя дисковыми фрезами (1,2), расположенными в одной впадине

дине зубьев колеса (рис 14.17).

Резцы каждой фрезы обрабатывают одну сторону зуба. Фрезы вращаются и одновременно совершают движение обкатки совместно с колесом. Диаметры дисковых фрез достаточно большие, что позволяет выполнить обработку зуба без продольного перемещения инструмента.

Зубофрезерные станки для этой операции позволяют осуществлять нарезание зубьев методами врезания, обкатки и комбинирования. Колеса с модулем свыше 5 мм обрабатывают за две операции - черновую и чистовую.

Черновую обработку производят методом врезания, а чистовую методом обкатки. Колеса с модулем до 5 мм обрабатывают за одну

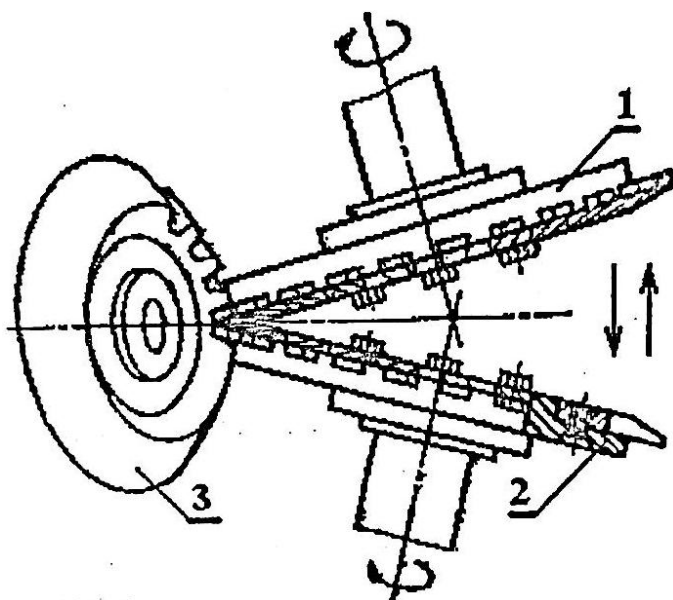


Рис. 14.17 Схема зубофрезерования.

операцию методом обкатки или комбинированным: сначала врезание, затем обкатка. Данный способ нарезания прямозубых конических колес в 4-ре раза

производительнее, чем при зубострогании двумя резцами и обеспечивает 7...8 степень точности. Время нарезания одного зуба - 10...30с. Поэтому данный способ в основном применяется в серийном и крупносерийном производстве.

Другим высоко производительным процессом нарезания зубьев у конических прямозубых колес является круговое протягивание зубьев (рис. 14.18).

Данный процесс применяется в массовом производстве прямозубых конических колес диаметром до 175 мм и до модуля 5 мм за один проход. Во время нарезания зуба заготовка неподвижна, а протяжка диаметром около 540 мм, оснащенная резцами из быстрорежущей стали, вращается с окружной скоростью  $V = 0,42... 0,6$  м/с и движется возвратно-поступательно  $S$  в направлении к ножке зуба. За один оборот протяжка производит черновую (1...6 резцы), получистовую (7...11 резцы) и чистовую (13...16 резцы) обработку одной впадины зуба. Резец 12 предназначен для снятия фаски по боковым поверхностям зубьев перед чистовой частью протяжки. На участке между 16 и 1 резцами происходит автоматический поворот заготовки на один зуб. Время обработки одного зуба до 4 с.

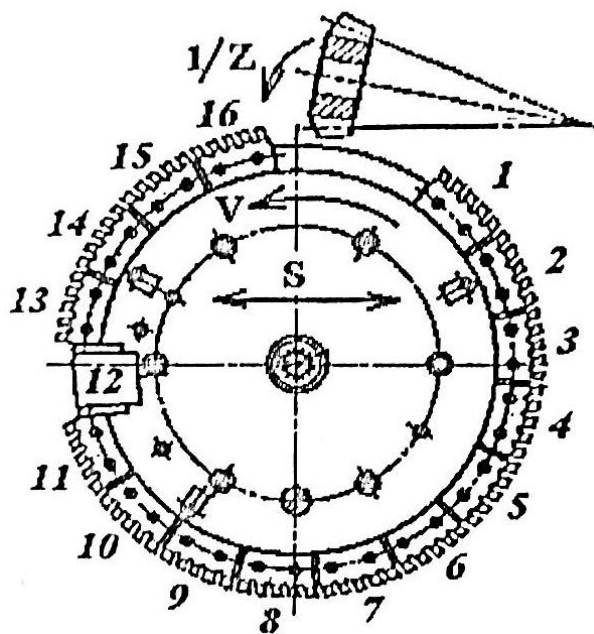


Рис. 14.18 Схема зубопроотягивания.

Степень точности колес - 7-я. Конические колеса с круговыми зубьями нарезают специальными торцевыми многолезцовыми головками (рис. 14.19). Зубья нарезаются за две операции - черновое и чистовое зубонарезание.

*Зубонарезание производится* двумя методами: копирования (врезание) и обката. При методе копирования заготовка в процессе резания неподвижна, а вращающаяся резцовая головка имеет осевую подачу врезания и прорезает впадину зуба. Применяют два типа резцовых головок - двусторонние и трехсторонние.

Двусторонние головки состоят из наружных и внутренних резцов, расположенных поочередно. Каждый резец одновременно обрабатывает боковую сторону и часть впадины.

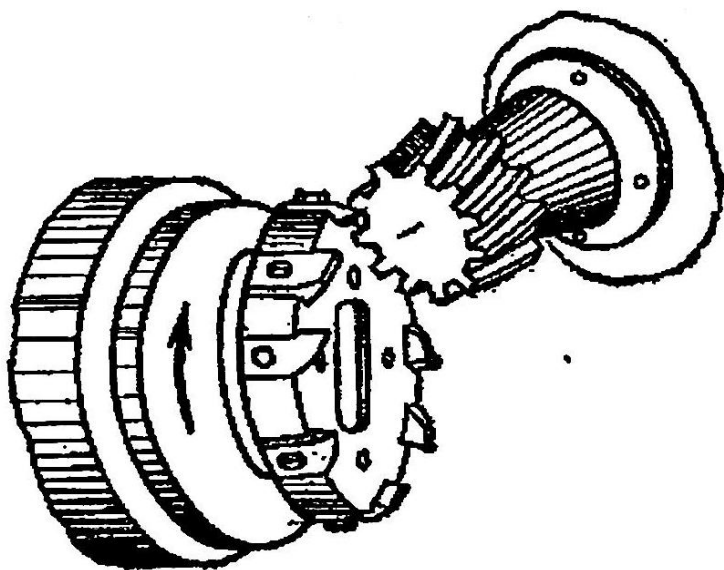


Рис. 14.19 Трехсторонняя резцовая головка. Трехсторонние резцовые головки имеют три типа резцов: - наружные; - внутренние; - и средние. Наружные и внутренние резцы предназначены для обработки боковых сторон зуба, а средние резцы - для обработки только дна методе обката обрабатываемая заготовка и резцовая головка вращаются согласованно. Данный метод чаще всего применяют при чистовой операции зубонарезания.

#### 14. 10. Технология изготовления червяков и червячных колес

При составлении технологии изготовления червяка необходимо учитывать требования к термической обработке: изготовление червяков, не подвергаемых термической обработке, изготовление червяков, термически обработанных до твердости HRC0з 37 и червяков, термически обработанных до твердости свыше HRCз 37.

*Механическая обработка червяка предусматривает четыре этапа:*

- 1- получение необходимых геометрических форм,
- 2- обработка базовых поверхностей для нарезания винтовой поверхности червяка,
- 3- нарезание винтовой поверхности червяка,
- 4- обработка остальных поверхностей.

В зависимости от вида производства нарезание винтовой поверхности червяка может производиться профильными резцами на токарных станках (мелкосерийное производство), дисковыми фрезами на универсально-

фрезерных станках (серийное производство) и долбьяками на специальных червячно - долбежных станках (массовое производство). Хотя метод фрезерования винтовой поверхности червяка является более производительным, чем нарезание профильными резцами, но данный метод даст достаточно большую погрешность отклонения профиля витка от прямолинейности.

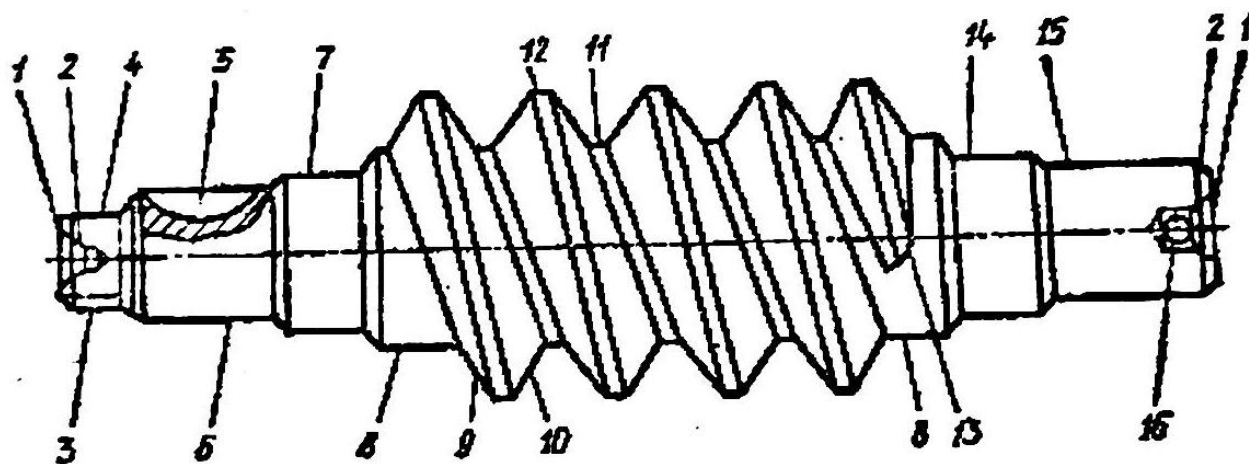


Рис. 14.20 Чертеж цилиндрического червяка.

На рисунке 14.20 дан чертеж цилиндрического термически необработанного червяка, а в таблице 14.1 - перечень операций изготовления червяка из проката. При термической обработке червяка до твердости HRC3 37 термическую обработку производят после получения геометрических форм. При изготовлении червяка твердость свыше HRC3 37 термообработку производят после операции 065, а операции 025 и 030 осуществляют после термической обработки- финишная обработка винтовых поверхностей -шлифование.

Нарезание глобоидных червяков осуществляется в серийном и массовом производстве специальными многозубыми резцовыми головками. При мелко-серийном производстве— однорезцовой головкой. К глобоидным червякам предъявляются повышенные требования по чистоте профиля винтовой поверхности.

Так как шлифование этой поверхности представляет большие технологические трудности, то применяют операцию полирования мягкими войлочными притирами (в мелкосерийном и серийном производстве). В крупносерийном и массовом производстве у червяков твердостью до 35...40 HRCэ осуществляется



прикатка профиля витка червяка на специальном станке двумя криволинейными роликами, располагаемых с двух сторон витка.

Операция прикатки частично исправляет профиль и улучшает шероховатость поверхности.

Таблица 14.1. Технологические операции изготовления цилиндрического червяка (рис. 14.20).

№ опер.	Операция
	1. Обработка для получения геометрических форм.
005	Подрезка торца, центрование торца (пов. 1 и 2).
010	Подрезка торца, центрование торца с другой стороны (пов. 1 и 2).
015	Черновая и чистовая обработка шеек: 3; 6; 7; 8.
	2. Обработка базовых поверхностей.
020	Черновая и чистовая обработка шеек: 15; 14; 8; 12.
025	Шлифование шеек: 6; 7; 14; 15.
030	Шлифование поверхности 12.
	3. Нарезание винтовой поверхности.
035	Черновое нарезание витка резцом поверхностей: 9; 10; 11.
040	Чистовое нарезание одной стороны витка (пов. 9) профильным резцом.
045	Чистовое нарезание другой стороны витка (пов. 10) профильным резцом.
050	Контроль размеров.
	4. Обработка остальных поверхностей.
055	Нарезание резьбы 3.
060	Фрезерование шпоночной канавки 5.
065	Сверление поверхности 16.
070	Зачистка заусенцев.
075	Контроль основных размеров.

Обработка червячного колеса производится в следующем порядке:

- 1) токарная обработка отверстия и торцов (черновая и чистовая),
- 2) сверление крепежных отверстий,
- 3) черновое и чистовое нарезание зубьев,
- 4) финишная обработка зубьев.

Нарезание зубьев червячных колес производится специальными червячными фрезами на зубофрезерных станках по методу обкатки. Форма червячных фрез должна точно соответствовать форме червяков, которые будут находится в зацеплении с нарезаемыми червячными колесами. Отделочную обработку зубьев червячных колес выполняют шевингованием и притиркой.

Контрольные вопросы для самоподготовки:

1. Перечислите способы получения заготовок для зубчатых колес.
2. Приведите маршрутную технологию изготовления цилиндрического зубчатого колеса
3. Назовите виды отделочных операций зубьев и применяемый инструмент
4. Укажите преимущества того или иного способа нарезания конических зубьев
5. Приведите технологию изготовления червячного колеса.
6. Как осуществляется в серийном и массовом производстве нарезание глобоидных червяков?
7. Какие типа резцов трехсторонних резцовых головок вы знаете?
8. Назовите основные этапы механической обработки червяка.
9. Какие методы при изготовлении конических колес с прямыми зубьями получили наибольшее распространение?
10. Что такое круговое протягивание зубьев?

## ГЛАВА 15

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИВОДСТВА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

#### 15. 1. Классификации корпусных деталей

К корпусам относятся детали, характеризующиеся системой точно обработанных отверстий и плоскостей, координированных друг относительно друга. Корпусные детали служат для монтажа в них узлов и механизмов машин. Данные детали имеют обычно сложную конфигурацию, большое число различных по форме и размерам поверхностей, полостей и отверстий.

Для корпусных деталей характерно наличие базовых поверхностей, называемых прилегающими, по которым они стыкуются с другими узлами или агрегатами машины, а также основных отверстий, предназначенных для монтажа опор валов.

Корпусные детали могут быть разъемными и неразъемными. Технология обработки разъемных корпусов отличается от технологии обработки неразъемных корпусов. По технологическим особенностям обработки разъемные и неразъемные корпусные детали делят на две группы:

- а) призматического типа с плоскими поверхностями больших размеров и основными отверстиями, оси которых расположены параллельно-или под углом; например, корпус коробки передач, блок цилиндров двигателя и др.;
- б) фланцевого типа с плоскостями, являющимися торцевыми поверхностями основных отверстий.

#### 15. 2. Технологические задачи изготовления корпусов

Технологические задачи при изготовлении корпусов формулируются, исходя из следующих требований: параллельности и перпендикулярности осей основных отверстий друг другу и базовым поверхностям;

- соосности основных отверстий;
- соблюдения заданных межосевых расстояний;
- точности диаметров и правильности формы основных отверстий;
- перпендикулярности торцевых поверхностей осей основных отверстий;
- прямолинейности плоскостей;

- качества поверхностного слоя.

Допуск параллельности осей основных отверстий составляет в пределах 0,02... 0,05 мм на 100 мм длины, допуск соосности – в пределах половины поля допуска на диаметр меньшего отверстия. Точность диаметров основных отверстий подшипник, как правило, по 7-му качеству, реже - по 6-му качеству. Отклонение формы от круглости и цилиндричности не более 0,3... 0,5 допуска на соответствующий диаметр. Межосевые расстояния основных отверстий выдерживают с допусками, обеспечивающими необходимую точность работы зубчатых и червячных передач (7...9 степень точности). У разъемных корпусов несовпадение осей отверстий с плоскостью разъема в пределах 0,05... 0,3 мм в зависимости от диаметра отверстия.

Допуск прямолинейности поверхностей прилегания задается в пределах 0,05...0,20 мм на всей длине, допуск плоскостности поверхностей скольжения (трущихся поверхностей) до 0,05 мм на длине 1 м. Допуск перпендикулярности торцевых поверхностей к осям отверстий должен находиться в пределах 0,01... 0,1 мм на 100 мм радиуса.

Шероховатость поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей для корпусных деталей должна быть:

- у основных отверстий, изготовленных по 7-му качеству,  $R_a = 1,6...0,4$  мкм, по 6-му качеству  $R_a = 0,4...0,1$  мкм;
- у плоскостей прилегания  $R_a = 6,3...0,63$  мкм, поверхностей скольжения  $R_a = 0,8...0,2$  мкм и у торцевых поверхностей  $R_a = 6,3...1,6$  мкм.

### **15.3. Материал и заготовки для корпусных деталей**

Корпусные детали, применяемые в транспортных и технологических машинах, в большинстве случаев выполняют литыми из серого чугуна с шаровидным графитом и алюминиевых сплавов, а также сварными из углеродистой стали. Литье часто является единственно возможным способом изготовления корпусных заготовок сложной формы.

Чугунные отливки в основном получают литьем в песчаные формы. Для сложных корпусов с высокими требованиями по точности и шероховатости ре-

комендуется литье в оболочковые формы. Достоинством серого чугуна являются хорошие литейные свойства, хорошую обрабатываемость и достаточно высокие физико-механические свойства, способность к гашению вибраций. Корпусные детали, не подвергающиеся ударным нагрузкам, изготавливают из серого чугуна СЧ15, СЧ18, СЧ21. Для тонкостенных корпусов применяют чугуны с повышенным содержанием фосфора и кремния. Корпуса, работающие в условиях вибрации и значительных статических или динамических нагрузок, изготавливают из высокопрочного чугуна СЧ25 или стали 35Л.

Заготовки для корпусных деталей из алюминиевых сплавов получают литьем в кокиль или литьем под давлением. Используются алюминиевые и магниевые сплавы АЛ4, АЛ10В, МЛ5 и др.

В последние годы ведется работа по замене литых заготовок сварных, что позволяет существенно снизить вес детали без изменения ее эксплуатационных характеристик, так как толщина стенок корпуса может быть уменьшена на 30...40% по сравнению с литыми корпусами. Сварные конструкции корпусов изготавливают из листовой низкоуглеродистой стали (Ст.3, Ст.4). Большие перспективы имеют комбинированные конструкции корпусов штампов-сварные и сварнолитые.

#### **15. 4. Предварительная обработка заготовок**

Предварительная обработка заготовок включает несколько операций.

1. *Обрубка и очистка заготовки.* У заготовок, полученных литьем в песчано-глинистые формы, удаляются литники и прибыли: на прессах, ножницах, ленточными пилами, газовой резкой и другими способами. Очистка от остатков формовочных смесей производится дробеструйной или пескоструйной обработкой. В единичном и мелкосерийном производствах, где могут изготавливать сварные корпуса из стали, зачистка сварных швов проводится также дробеструйной обработкой. Заготовки, полученные литьем в кокиль или давлением, как правило, очистке не подвергаются.

В отливках и в сварных корпусных деталях в результате их неравномерного охлаждения и усадки металла возникают внутренние напряжения, вызывающие

их коробление. Для уменьшения внутренних напряжений отливки подвергаются термической обработке: медленный нагрев ( $60\text{...}100^\circ/\text{ч}$ ) до  $500\text{...}600^\circ\text{C}$ , выдержке их при этой температуре в течение  $1\text{...}6$  ч (в зависимости от размера отливок) и последующем медленном охлаждении ( $25\text{...}75^\circ/\text{ч}$ ) до  $150\text{...}200^\circ\text{C}$ . Далее охлаждение можно вести ускоренно. После термообработки заготовки подвергаются пескоструиной очистке.

2. *Малярная.* У чугуновых заготовок, которые в процессе механической обработки не будут подвергаться термической обработке, грунтуют и окрашивают необрабатываемые поверхности. Операция проводится с целью предохранения попадания в работающий механизм корпуса чугунной пыли, обладающей свойством "въедаться" в неокрашенные поверхности при механической обработке

3. *Контрольная.* Проверка наличия дефектов и пределов твердости материала.

Определение допусков на размеры, припусков на механическую обработку, предусмотренные для каждой конструкции корпусной заготовки. Для корпусов, заполняемых при работе маслом, проводится проверка на герметичность. Проверка осуществляется ультразвуковой или рентгеновской дефектоскопией. В единичном производстве или при отсутствии дефектоскопии проверка может производиться керосином и мелом. Для корпусов, работающих под давлением (например, корпус гидрораспределителя), вводится проверка заготовки на герметичность под давлением.

4. *Разметочная.* Применяется в единичном и мелкосерийном производствах.

### **15.5. Основные схемы базирования заготовок при механической обработке**

Технические требования к корпусным деталям включают высокую точность обработки плоскостей, основных отверстий и их взаимного расположения. В связи с этим при механической обработке корпусной заготовки большое значение приобретает правильный выбор схемы ее базирования и постоянство выбранных баз. Используются два метода базирования с различными способами их исполнения:

- обработка от плоскости, т.е. вначале окончательно обрабатывают установочную плоскость, затем ее принимают за установочную базу и относительно неё обрабатывают точные основные отверстия;

- обработка от основного отверстия, т.е. вначале окончательно обрабатывают одно или два основных отверстия, а затем от них обрабатывают плоскости.

Более точным является обработка от отверстия, особенно при наличии в корпусе больших основных отверстий и при высокой точности расстояния от плоскости до центра основного отверстия. При обработке от плоскости труднее выдерживать два точных размера - диаметр основного отверстия и расстояние до координирующей плоскости. Но наиболее простое и удобное базирование заготовки — это обработка от плоскости.

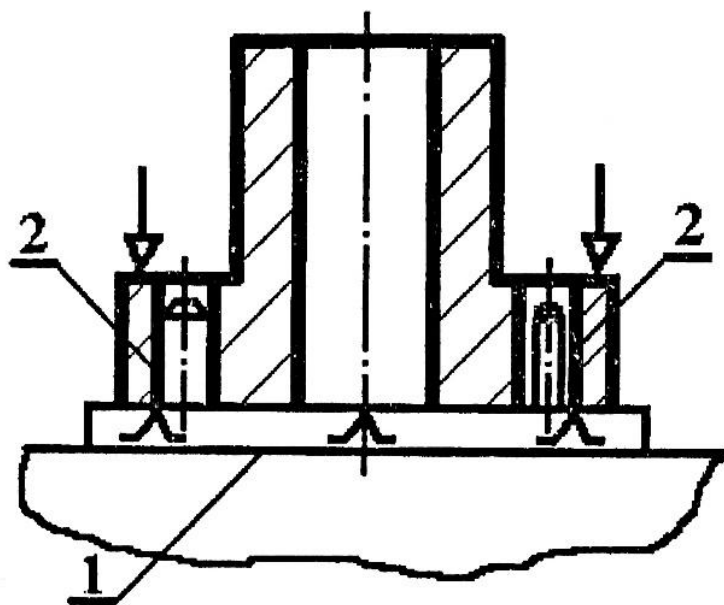
Существует несколько способов базирования заготовки при обработке от плоскости. Для корпусов призматического типа широко используется способ базирования *по плоской поверхности и двум отверстиям на этой плоскости*, расположенных достаточно далеко друг от друга (рис 15.1).

С этой целью в начале обрабатывают (фрезеруют или протягивают) данную плоскость (1). Затем в этой плоскости выбирают два вспомогательных отверстия (2) (крепежные, смотровые, и т.д.) и обрабатывают их до диаметра 15...20 мм, при окончательной операции - развертывание по 7-му качеству. Если же не возможно использовать вспомогательные отверстия в обработанной плоскости или их в этой плоскости нет, то изготавливают специальные (технологические) отверстия, если это не запрещено техническими условиями на эксплуатацию корпуса. При запрещении на изготовление технологических отверстий выбирается другой способ базирования заготовки.

Технологической базой при фрезеровании или протягивании плоскости будет являться необработанная плоскость параллельная обрабатываемой, а для технологических отверстий технологической базой будет являться обработанная плоскость.

Для корпусов фланцевого типа основным способом базирования заготовки является базирование ее по торцу фланца, по одному из основных отверстий и

одному из вспомогательных отверстий. С этой целью предварительно обраба-



тываются указанные базовые поверхности.

Если у корпусной детали несколько основных отверстий и они имеют достаточно большие размеры уже в заготовке, то целесообразно базировать заготовку по двум основным отверстиям с

Рис. 15.1 Схема базирования корпусной детали. параллельными осями и перпендикулярной им плоскости.

Существуют и другие способы базирования корпусных заготовок: по основным отверстиям на центрирующих оправках, на самоцентрирующих оправках, по трем плоскостям, по внутренним поверхностям и др. Конкретный способ базирования корпусных заготовок зависит от конструктивных особенностей и экономической целесообразности.

Если конфигурация корпуса не позволяет эффективно использовать его поверхности для базирования, то обработку таких заготовок производят в приспособлении-спутнике. При установке заготовки в таком приспособлении могут быть использованы черновые или искусственно созданные вспомогательные базовые поверхности, причем заготовка обрабатывается на различных операциях при постоянной установке в приспособлении, но положение самого приспособления на разных операциях меняется.

### 15. 6. Технологический маршрут обработки корпусов

При обработке заготовок для получения корпусов *неразъемного* типа, например, корпуса коробки передач, маршрут обработки заготовки состоит из следующих этапов:



1) обработки базовой поверхности и установочных технологических отверстий;

2) обработка основных поверхностей, используя в качестве установочной и вспомогательных баз обработанную базовую поверхность и технологические отверстия;

3) предварительной обработки основных отверстий;

4) обработки остальных второстепенных поверхностей и других отверстий малого диаметра;

5) обработки крепежных отверстий;

6) финишной обработки основных отверстий;

7) мойки;

8) контроля размеров и шероховатости обработанных поверхностей;

9) нанесения антикоррозионного покрытия.

Каждый этап обработки может включать несколько операций, в том числе черновые и чистовые.

Маршрут обработки заготовок при изготовлении *разъемных* корпусов существенно отличается от обработки заготовок для неразъемных корпусов:

1) обработки поверхности разъёма у основания и у крышки;

2) обработки крепежных отверстий и отверстий под установочные штифты на поверхности разъёма основания и поверхности разъёма крышки;

3) промежуточную сборку корпуса;

4) предварительную обработку основных отверстий;

5) обработки остальных поверхностей и других отверстий малого диаметра;

6) обработку остальных крепежных отверстий;

7) финишную обработку основных отверстий;

8) мойку;

9) контроля размеров и шероховатости обработанных поверхностей;

10) нанесения антикоррозионного покрытия.

## 15. 7. Основные операции обработки корпусных деталей

### 15.7.1. Обработка плоских поверхностей

Обработку плоских поверхностей можно производить различными методами, но наиболее широкое применение при изготовлении корпусных деталей транспортных и технологических машин имеют процессы фрезерования, протягивания и шлифования.

**Фрезерование** в настоящее время является наиболее распространенной операцией обработки плоских поверхностей. Данная операция характеризуется высокой производительностью и сравнительно высокой точностью. Обработка поверхности в два перехода (черновой и чистовой) позволяет достичь по точности размеров - JT9; по шероховатости 6,3...0,8 мкм по  $R_a$  и отклонение от плоскостности 40...60 мкм.

Среди различных видов фрезерования (цилиндрического, торцевого, двух- и трехстороннего и др.) предпочтение отдается фрезерованию торцевыми фрезами или фрезерными головками (торцевая фреза со вставными ножами). Преимущества перед фрезерованием цилиндрическими фрезами у торцевых фрез следующие:

- отсутствие длинных оправок, что дает большую жесткость крепления инструмента, а это, в свою очередь, позволяет повысить режимы резания (глубину резания и подачу) и точность обработки;
- одновременным участием в обработке большого числа зубьев, что обеспечивает более плавную работу и низкую шероховатость;
- применением фрез больших диаметров, что повышает производительность обработки;
- одновременной обработкой заготовок с разных сторон (например, при использовании барабанно-фрезерных станков).

В мелкосерийном производстве используются фрезерные станки с поворотными столами, что позволяет за одну установку обработать 4 -е плоскости заготовки. В серийном производстве заготовки обрабатываются на продольно-

фрезерных станках тоцевыми фрезами с использованием многоместных приспособлений и при работе несколькими фрезами. На рис. 15.2 показана обработка заготовок на продольно-фрезерном станке с двумя горизонтальными шпинделями. Но эти станки могут иметь до 8-ми шпинделей, расположенных в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В крупносерийном и массовом производстве широко применяются карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки, работающие по непрерывному циклу без потерь на вспомогательные ходы: заготовки, устанавливаются и снимают готовые детали на ходу станка со стороны, противоположной той, где находятся фрезы. Карусельно-фрезерные станки имеют круглые столы большого диаметра и два

вертикальных шпинделя, на которых установлены торцевые фрезы (торцевые головки). Одна фреза предназначена для черновой, другая для чистовой обработки только одной поверхности заготовки. На барабанно-фрезерных станках обрабатывают плоскости одновременно с двух сторон. Это может быть обработка верхней и нижней плоскостей корпуса или одна плоскость корпуса, но заготовки устанавливаются в два ряда. Обработка ведется четырьмя или шестью фрезами, две или четыре из которых предназначены для чернового, а остальные для чистового фрезерования. Барабан вращается со скоростью 300...700 мм/мин.

В последние годы все шире используется обработка плоскостей на горизонтальных или вертикальных протяжных станках протяжками секционного типа со вставными ножами. При протягивании снимается припуск до 5 мм с шири-

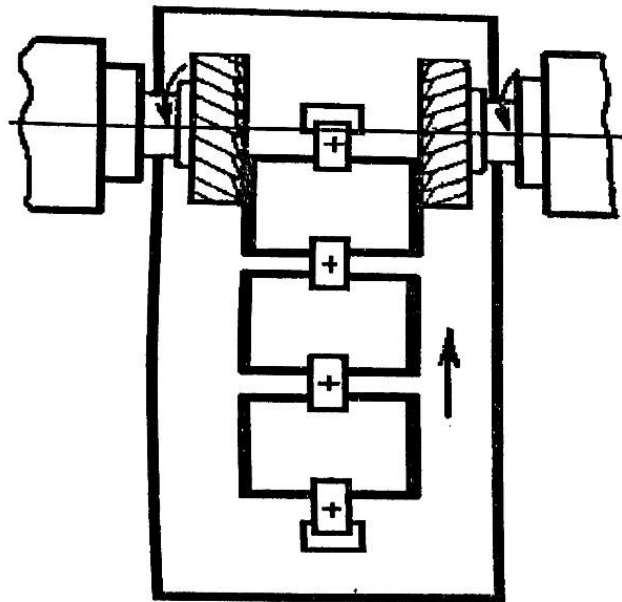


Рис. 15.2 Обработка корпуса на продольно-фрезерном станке.

ной протягивания до 350 мм. Точность обработки размеров 9...7 квалитет, шероховатость 3,2... 0,8 мкм. Ограничениями в использование процесса протягивания является пока его высокая стоимость и сложность инструмента. Но в массовом производстве применение протягивания экономически выгодно.

### **15.7.2. Шлифование**

Для некоторых конструкций корпусов, применяемых в транспортных и технологических машинах и, особенно для разъемных корпусов, необходимо более высокое качество обрабатываемых поверхностей. Это достигается операциями шлифования: предварительное, чистовое, тонкое).

Шлифование плоских поверхностей осуществляют на плоскошлифовальных станках с крестовым или круглым столом, периферией или торцом круга. Плоским шлифованием обеспечивается следующая точность и шероховатость поверхности:

- предварительное шлифование - JT8...JT9,  $R_a = 1,6...0,8$  мкм;
- чистовое шлифование - JT7...JT8,  $R_a = 0,8...0,4$  мкм;
- тонкое шлифованием - JT7...JT6,  $R_a = 0,4...0,1$  мкм.

Такие отделочные операции как шабрение и полирование при изготовлении корпусных деталей для транспортных и технологических машин применяется очень редко.

### **15.7.3. Обработка основных отверстий**

Задача операций обработки основных отверстий в корпусных деталях заключается в обеспечении их точности, заданной геометрической формы, а также требуемого расположения их осей. Обработка основных отверстий производится на расточных и агрегатных многошпиндельных станках, вертикально-сверлильных или радиально-сверлильных станках.

В единичном и серийном производстве обработка основных отверстий выполняется на расточных и сверлильных станках. При крупносерийном и массовом производстве - на агрегатных станках. На расточных станках применяются однорезцовые и многорезцовые головки..

Для уменьшения погрешностей при расточке следует применять расточные оправки с наибольшим диаметром, допускаемых обрабатываемых отверстием, и с наименьшей длиной (рис 15.3).

Для получения требуемой точности отверстия необходимо обращать внимание на установку как самого инструмента в оправку, так и оправки в шпиндель станка. С целью повышения производительности обработки на расточных станках применяют многошпиндельные расточные головки для одновременной обработки нескольких отверстий с параллельными осями.

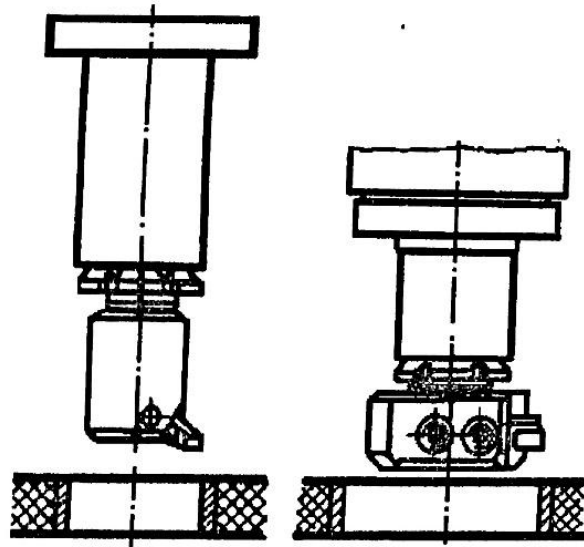


Рис. 15.3 Схема расточки основных отверстий.

Операции на сверлильных станках (сверление, зенкерование, развертывание) с патронами для быстрой смены инструментов применяются в единичном и мелкосерийном производстве для обработки основных отверстий корпусов небольших габаритов с применением кондукторов. В серийном производстве используют сверлильные станки с многошпиндельными поворотными головками, в которых установлены различные мерные инструменты.

В крупносерийном и массовом производстве обработка основных отверстий производится на агрегатных станках. Возможности станков обусловлены их компоновкой: предусматривающей размещение силовых головок с индивидуальными шпинделями или с многошпиндельными инструментами насадками.

Силовые головки могут быть самодвижущимися или неподвижными (перемещается силовой стол, на котором установлена головка или сама заготовка 1) (рис 15.4).

Силовые головки 2 обеспечивают вращение, ускоренный подвод, рабочую подачу и ускоренный отвод инструмента. Агрегатные станки работают, как

правило, в полуавтоматическом режиме, оставляя на долю оператора загрузочно-разгрузочную операцию.

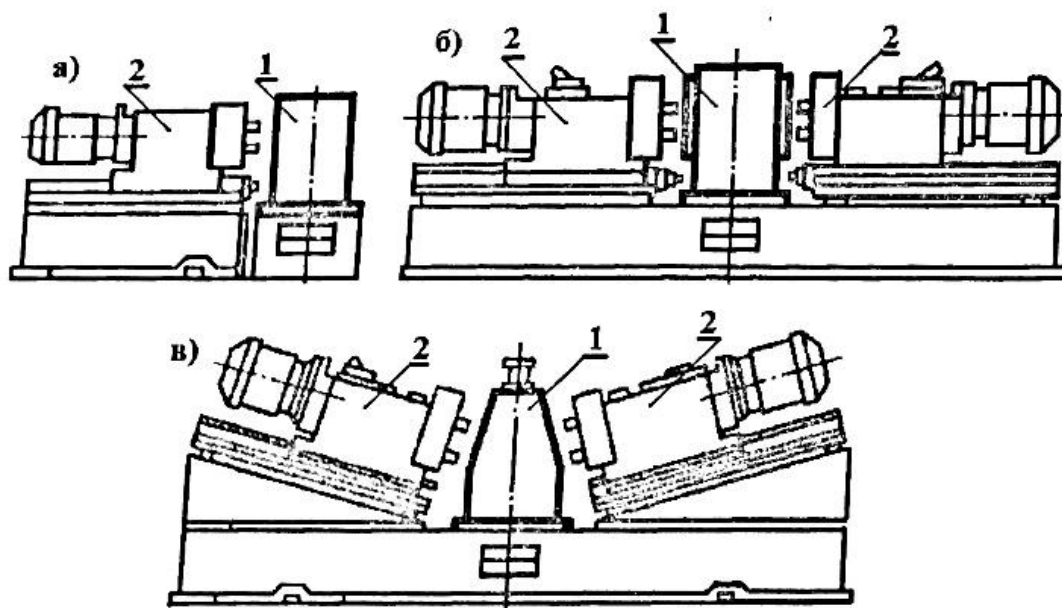


Рис. 15.4 Силовые головки

1- заготовка, 2- силовая головка.

Разделение обработки отверстия на черновую и чистовую производится в том случае, если выполнение операции за один рабочий ход не обеспечивает получение требуемой точности обработки и параметра шероховатости поверхности. Для обработки отверстий используют широкую гамму расточных инструментов. Часто используют комбинированный многоступенчатый инструмент для обработки за один рабочий ход нескольких соосных отверстий.

Обработка отверстий производится либо с подачей на длину рабочего хода стола с закрепленной на нем заготовкой или при неподвижном столе, в результате выдвижения шпинделя. Точность размеров и формы отверстия зависит от метода расточки: с применением консольной оправки или скалки (борштанги) с опорой, в приспособлениях с направлением инструмента кондукторными втулками (кондуктор) или без кондуктора.

Расточка отверстий с применением консольной оправки производится при вылете инструмента не более 3-х диаметров отверстия. Непрямолинейность и непараллельность осей растачиваемых отверстий при использовании консольной оправки с подачей на длину рабочего хода стола станка значительно

меньше, чем с подачей шпинделя.

При значительном вылете инструмента используют скалку с опорой, которая может располагаться перед обрабатываемым отверстием или за ним. Растачивание отверстия по кондуктору требует шарнирного крепления скалки со шпинделем станка. При обработке с применением кондуктора погрешности размеров, форм и пространственного положения отверстий не зависят от станка и способа подачи, а зависят от точности кондуктора, расточной скалки и от зазора посадки скалки в кондукторской втулке.

Для получения размеров повышенной точности и с шероховатостью менее 0,4 мкм применяются операции тонкого алмазного растачивания или раскатывания шариковыми или роликовыми раскатками.

#### 15. 7.4. Обработка вспомогательных и крепежных отверстий

Обработка крепежных и других вспомогательных отверстий занимает значительный объем. Поэтому стремятся максимально совместить переходы получения разных отверстий и резьбы. Увеличение числа одновременно работающих инструментов и применение кондукторов резко снижает машинное время обработки данных отверстий. При небольшом объеме выпуска корпусов, а также для обработки небольшого числа отверстий применяют накладные кондукторы на базе универсально-сборных приспособлений. В серийном и массовом производстве используют специальные агрегатные станки, на которых число шпинделей

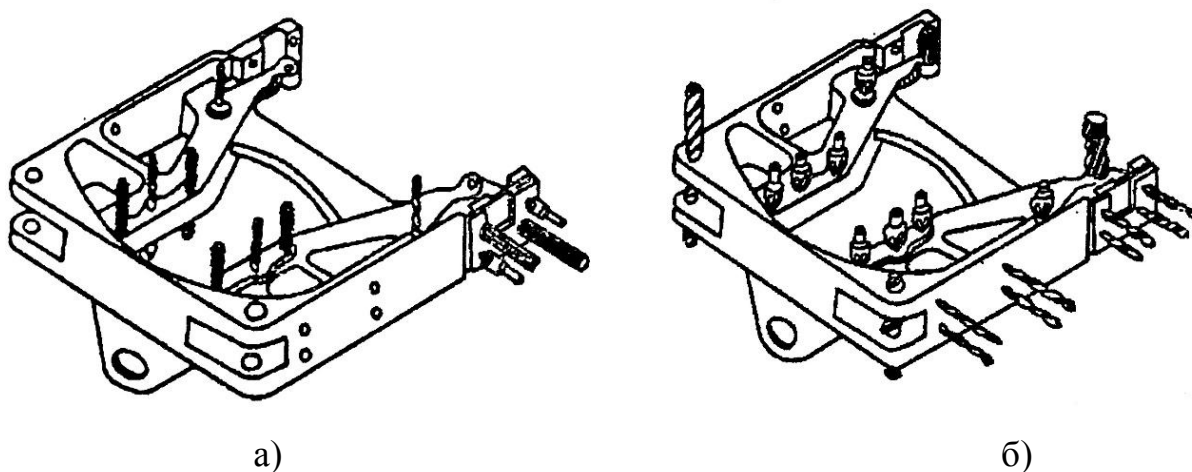


Рис. 15.5 Двадцатишпиндельный станок

достигает несколько десятков. На рис. 15.5,а и б показаны примеры применения агрегатно-сверлильных станков при обработке отверстий переднего бруса трактора из стальной отливки из стали 35Л1. На рис. 15.5, а двадцатишпиндельный станок с помощью горизонтальной головки производит сверление 6-ти отверстий напроход, сверление и зенкерование двух ступенчатых отверстий в боковой поверхности бруса с правой стороны; а вертикальная головка выполняет сверление 12-ти отверстий напроход. На рис. 15.5,б горизонтальная головка производит сверление 6-ти отверстий напроход, сверление и зенкерование двух ступенчатых отверстий в боковой поверхности бруса с левой стороны; вертикальная головка выполняет сверление 2-х отверстий, цекование 2-х бобышек и снятие фасок в 6-ти отверстиях.

#### Контрольные вопросы.

1. Назовите материалы для изготовления корпусных деталей.
2. В чем основное отличие в технологии обработки неразъемного корпуса и разъемного?
3. Приведите схемы базирования корпусных заготовок при обработке.
4. Какие методы существуют для уменьшения погрешностей при расточке основных отверстий в корпусе?
5. В чем особенности обработки вспомогательных и крепежных отверстий корпусов?
6. В чем существенная разница при применении барабанно-фрезерного или карусельно-фрезерного станков?
7. Какими способами достигается малая шероховатость поверхностей основных отверстий?
8. Какой объем занимает обработка крепежных и других вспомогательных отверстий?
9. В каком случае производится разделение обработки отверстия на черновую и чистовую?
10. В чем заключается задача операций обработки основных отверстий в корпусных деталях?



## Список литературы

1. Андреев Г.Н., Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства. - М.: Высшая школа, 1999. -415с.
2. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1987. - 256с.
3. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. - М.: Изд-во стандартов, 1992.- 464с.
4. Качество машин: Справочник. В 2 т.- Т1 /Под общей ред. А.Г. Сулова. - М.: Машиностроение, 1995.- 256с.
5. Классификатор ЕСКД. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 256 с. 6. Ковшов А.Н. Технология машиностроения.-М.: Машиностроение, 1987.- 320с.
6. Колосов И.М. Основы технологии машиностроения. -М.: Высшая школа, 1999. -591с.
7. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1980. - 592с.
8. Проектирование технологии /под общей ред. Ю.М. Соломенцова.-М.: Машиностроение, 1990.- 416 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2т.- Т.1 /под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мешерякова. - М.: Машиностроение. 1985.-656с.
10. Технология машиностроения /под ред. С.Л. Мурашкина. Санкт-Петербург, 2000. - 497 с.
11. Технология машиностроения: в2 т. Т. 2 Производство машин: Учебник для ВУЗов /под ред. Г.Н. Мельникова.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 640с
12. Технология производства гусеничных и колесных машин. /Под общей ред. Н.М. Капустина. -М.: Машиностроение.
13. Технологичность конструкций изделий. Справочник /Под ред. Ю.Д. Амирова. - М.: Машиностроение. 1985. - 368с.

14. Технологические процессы в машиностроении: Учебное пособие/под общей ред. Н.П. Солнышкина. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.-.277с.
15. А.П. Шнырев, С.К. Тойгамбаев. Основы надежности транспортных и технологических машин. – М.: Учебное пособие. Издат. «Компания Спутник+» 2006. 133с.
16. Тойгамбаев С.К. Применение инструментальных материалов при резании металлов. – М.: Учебное пособие. Утвержден УМО ВУЗов МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ред. Издат. Отд. МГУП. 2007. 205с.
17. Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Мынжасаров Р.И. Надежность технологических машин. – М.: Учебное пособие. Под ред. С.К. Тойгамбаева. Утвержден УМО ВУЗов МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ред. Издат. Отд. МГУП. 2008. 200с.

## Содержание

Предисловие .....	3
Глава I Производство черных и цветных металлов.....	5
1.1 Основные процессы получения черных и цветных металлов.....	5
1.2 Производство чугуна.....	6
1.2.1 Характеристика чугунов.....	6
1.2.2 Исходные материалы для производства чугуна.....	8
1.2.3 Технологический процесс получения чугуна.....	13
1.3 Производство стали.....	17
1.3.1 Характеристика сталей.....	17
1.3.2 Технология конвертерного производства стали.....	20
1.3.3 Технология производства стали в электропечах.....	24
1.4 Производство алюминия и его сплавов.....	32
1.4.1 Характеристика алюминиевых сплавов.....	32
1.4.2 Технология производства алюминия.....	34
Глава 2 Заготовки для деталей машин.....	37
2.1 Виды и требования к заготовке.....	37
2.2 Характеристика отливок.....	38
2.3 Характеристика заготовок, полученные прокаткой.....	39
2.4 Характеристика поковок и штампованных заготовок.....	41
2.5 Характеристика прессованных профилей.....	42
Глава 3 Производство заготовок литьем.....	43
3.1 Основы литейного производства заготовок.....	43
3.2 Получение заготовок в песчаной литейной форме.....	43
3.3 Получение заготовок в металлической форме.....	46
3.4 Получение заготовок литьем по выплавляемой модели.....	47
3.5 Получение заготовок литьем в оболочковую форму.....	48
3.6 Получение заготовок литьем под давлением.....	48
3.7 Получение заготовок центробежным литьем.....	49
3.8 Производства отливок.....	50

3. 9	Технология приготовления расплава.....	51
Глава 4	Получения заготовок давлением.....	54
4.1	Прокатное производство.....	54
4. 1. 1	Технология продольной прокатки.....	55
4. 1. 2	Производство сортовых профилей.....	56
4.1.3	Производство горячекатанных листов.....	57
4.1.4	Производство холоднокатанных листов.....	57
4.2	Получение заготовок процессами ковки.....	59
4. 3	Получение заготовок процессами штамповки.....	59
4.3.1	Горячая объемная штамповка.....	59
4.3.2	Холодная объемная штамповка.....	63
4.3.3	Холодная листовая штамповка.....	66
Глава 5	Производственный и технологический процессы.....	68
5. 1	Понятие о производственном процессе.....	68
5. 2	Виды технологических процессов.....	70
5. 3	Понятие о технологическом процессе механической обработки заготовок.....	75
5. 4	Типы производства.....	78
5. 5	Характеристика типа производства.....	79
Глава 6	Базы и базирование.....	83
6.1	Понятие о базах.....	83
6.2	Классификация баз по назначению.....	84
6. 3	Классификация баз по лишаемым степеням свободы.....	87
6.4	Классификация баз по характеру проявления.....	89
6. 5	Понятие о базировании.....	92
6.6	Принцип постоянства базы.....	96
6. 7	Принцип совмещения баз.....	98
Глава 7	Точность механической обработки.....	101
7.1	Основные понятия и определения.....	101
7.2	Классификация погрешностей.....	103

7. 3 Обеспечение точности размеров детали .....	104
Глава 8 Станочные приспособления.....	117
8.1 Назначение приспособлений и их классификация.....	117
8.2 Установочные элементы приспособлений.....	123
8. 3 Зажимные устройства приспособлений.....	126
Глава 9 Технология производства валов.....	131
9. 1 Характеристика валов.....	131
9. 2 Технологические задачи изготовления валов.....	131
9. 3 Материал валов.....	133
9. 4 Способы получения заготовок для валов .....	133
9. 5 Предварительная обработка заготовок. ....	135
9. 6 Технологический процесс обработки валов.....	137
9. 7 Основные схемы базирования валов.....	138
9. 8 Подрезка торцов и сверление центровых отверстий.....	139
9. 9 Обработка наружных цилиндрических поверхностей вала.....	140
9.10 Токарная операция.....	141
9.11 Операция шлифования.....	146
9.12 Изготовление шпоночных пазов .....	151
9.13 Изготовление шлицев на валах.....	153
9.14 Изготовление резьбы.....	157
Глава 10 Технологические процессы изготовления типовых деталей типа валов.....	159
10. 1 Технологический процесс изготовления коленчатого вала.....	159
10. 2 Технологический процесс изготовления кулаков шарниров.....	155
10. 3 Технологический процесс изготовления балансиров.....	167
Глава 11 Технология изготовления деталей класса втулок.....	170
11.1 Характеристика втулок.....	170
11.2 Материалы и заготовки.....	170
11.3 Основные операции обработки наружных и внутренних поверхностей.....	171

11.4	Типовой маршрут изготовления втулок.....	176
Глава 12	Технология изготовления деталей типа рычагов.....	178
12.1	Характеристика деталей типа рычагов.....	178
12.2	Материал и заготовки.....	179
12.3	Технологические требования изготовления рычагов.....	180
12.4	Технология обработки рычагов.....	180
Глава 13	Технология изготовления деталей типа дисков.....	183
13.1	Характеристика деталей типа дисков.....	183
13.2	Материалы и методы получения заготовок.....	184
13.3	Типовая схема обработки заготовок.....	186
13.4	Технологический процесс изготовления поворотного кулака.....	187
Глава 14	Технология изготовления зубчатых колес.....	191
14.1	Характеристика зубчатых колес.....	191
14.2	Конструктивные особенности зубчатых колес.....	192
14.3	Материал зубчатых колес.....	193
14.4	Способы получения заготовок зубчатых колес.....	194
14.5	Технологические задачи изготовления зубчатых колес.....	195
14.6	Технология изготовления цилиндрических колес.....	198
14.7	Отделочные операции для зубьев цилиндрических колес.....	205
14.8	Контроль колес.....	212
14.9	Технология изготовления конических колес.....	214
14.10	Технология изготовления червяков и червячных колес.....	218
Глава 15	Технология производства корпусных деталей.....	221
15.1	Классификация корпусных деталей.....	221
15.2	Технологические задачи изготовления корпусов.....	221
15.3	Материал и заготовки для корпусных деталей.....	223
15.4	Предварительная обработки заготовок.....	223
15.5	Основные схемы базирования заготовок при механической обработке.....	225
15.6	Технологический маршрут обработки корпусов.....	227

15. 7 Основные операции обработки корпусных деталей.....	228
Список литературы.....	233

СЕРИК КОКОИБАЕВИЧ ТОЙГАМБАЕВ  
КАДЫРЖОН АЧИЛОВИЧ ШАВАЗОВ  
НОРМУРОД КАНДОХОРОВИЧ ТЕЛОВОВ

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

***УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ***

Данные для связи и вопросов: Тойгамбаев Серик Кокибаевич к.т.н., профессор кафедры «Техническая эксплуатация технологических машин и оборудования» Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева.

Моб. Тел: +7926- 966-25-21-

Эл. почта: [kokibaewich@yandex.ru](mailto:kokibaewich@yandex.ru)